
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.962.25

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АППАРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ НАЗЕМНОГО ШУМОВОГО РСА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

П.Л. ВЫПЛАВИН, В.В. КУДРЯШЕВ, В.П. ПАЛАМАРЧУК, К.А. ЛУКИН

Дифференциально-интерферометрические измерения используются для мониторинга инженерных сооружений и выявления их структурных изменений. Для осуществления такого мониторинга в миллиметровом диапазоне длин волн была разработана аппаратура наземного шумового радара с синтезированной апертурой антенн. Работа направлена на оценку стабильности такой аппаратуры. Было проведено наблюдение за простой конструкцией. Экспериментально оценена погрешность измерений смещений объектов, проводимых с помощью этой аппаратуры. В работе представлены результаты таких экспериментов и приведены необходимые пояснения.

Ключевые слова: шумовой радар, формирование когерентных радиоизображений, дифференциальная интерферометрия.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование когерентных радиоизображений с помощью радаров с синтезированием апертуры (РСА) и дифференциальная интерферометрия применяются во многих задачах дистанционного зондирования и мониторинга инженерных сооружений [1,2]. Для регистрации малых смещений с высокой точностью необходимо обеспечить соответствующую инструментальную погрешность используемой аппаратуры, т.е. погрешность измерений, вносимую самой измерительной аппаратурой. В частности, для реализации этого подхода можно использовать наземные шумовые РСА [2–4], которые позволяют регистрировать фазовую информацию, содержащуюся в отраженном сигнале. Формируемые радиоизображения являются когерентными: каждый элемент такого радиоизображения содержит как амплитудную, так и фазовую информацию, относительно фазы опорного сигнала.

Дифференциальная интерферометрия основана на сравнении двух когерентных радиоизображений одной и той же зоны обзора, полученных с одной и той же позиции, но в разное время. Если изменения в зоне обзора и в измерительном оборудовании, влияющие на фазу отраженных и принятых сигналов, отсутствовали, то разность фаз между аналогичными элементами (пикселями) когерентных радиоизображений будет равна нулю. Если в зоне обзора произошли некоторые изменения – они будут отражены на интерферограмме как сдвиг фазы в соответствующих пикселях. Изменение характеристик аппаратуры и/или ее положения во время измерений также повлечет сдвиг фазы в сформированных радиоизображениях. Это может препятствовать обнаружению механических смещений объекта.

На точность интерферометрических измерений влияют механические и электронные нестабильности измерительной аппаратуры. Влияние механических нестабильностей исследовано авторами ранее [5, 6].

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию влияния нестабильностей электрических и электронных параметров аппаратуры наземного РСА на точность дифференциально-интерферометрических измерений на примере конкретного радара – наземного шумового РСА 8-мм диапазона длин волн, разработанного в ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины [2–4]. В этом РСА используются шумовые широкополосные сигналы 8-мм диапазона и когерентная обработка радарных откликов [7].

1. АППАРАТУРА НАЗЕМНОГО ШУМОВОГО РСА 8-мм ДИАПАЗОНА

Формирование когерентных радиоизображений выполнено с помощью двухпозиционного наземного шумового РСА [4]. В качестве антенн с синтезированной апертурой использованы ленточные сканеры [8, 9]. Формирование и сканирование луча осуществлено при последовательном использовании каждого положения одиночного излучателя антенны для передачи-приема сигнала согласно алгоритмам двухпозиционных РСА. Синтезирование апертуры реализуется последовательным перемещением излучающего/приемного элемента вдоль реальной апертуры антенны и последующей обработкой принятых сигналов.

Характеристики синтезированного луча предлагаемой антенны определяются длиной волны, физическими размерами апертуры, количеством положений при сканировании (шагом

сканирования) и амплитудно-фазовым распределением поля вдоль апертуры (весовой функцией), используемым при дальнейшей обработке данных. Технически эта антенна реализована следующим образом [8, 9]: в широкой стенке волновода, образующего апертуру антенны, сделана продольная щель вдоль всей апертуры, которая затем экранируется металлической лентой. В этой ленте прорезана вертикальная полуволновая щель. Для увеличения энергетической эффективности на внутренней стороне ленты на соответствующем расстоянии от щели установлен коротко замыкающий поршень. Перемещение такого излучателя вдоль реальной апертуры производится с помощью шагового двигателя, что позволяет добиться неподвижности щелей во время измерения. Движение ленты осуществляется вдоль прецизионных направляющих, что минимизирует неточность установки относительно широкой стенки волновода. Положение каждого излучателя контролируется с помощью системы синхронизации, использующей данные датчика угла поворота барабана, перемещающего ленту. Длина синтезированной апертуры каждой антенны достигает 0,7 м.

Для формирования зондирующего сигнала применяется частотная модуляция генератора управляемого напряжением (ГУН) с помощью низкочастотного шумового сигнала согласно режиму модуляции предложенному в [10]. Спектральная плотность мощности выходного сигнала передатчика может быть гауссовой или близкой к прямоугольной функцией в зависимости от параметров модулирующего сигнала. Часть мощности излучаемого сигнала ответвляется и используется в качестве опорного сигнала для когерентной обработки принятых сигналов. Принятый и опорный сигналы переносятся в диапазон промежуточных частот. Для дальнейшей оцифровки в 8-битном аналогово-цифровом преобразователе (АЦП), сигналы промежуточной частоты усиливаются. Используемый АЦП (GaGe CompuScore CS82G-1GHz-8M) позволяет оцифровывать сигналы с шириной спектра до 500 МГц. Стабильность частоты гетеродина обеспечивается использованием системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Долговременная относительная стабильность частоты гетеродинов, используемых для преобразования частоты принятого и опорного сигналов вниз, не превышает $\pm 3 \cdot 10^{-9}$ за 24 часа. Высокочастотная развязка приемного и передающего каналов обеспечивается используемой схемой преобразователя частоты. Сигнал гетеродина (9,12 ГГц) преобразуется в 8-мм диапазон путем раздельного 4-кратного умножения в опорном и приемном каналах РСА.

Основные характеристики аппаратуры наземного шумового РСА 8-мм диапазона длин волн приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики 8-мм наземного шумового РСА	
Диапазон рабочих частот, ГГц	36,5-37
Тактовая частота АЦП, ГГц	< 1,0
Ширина спектра мощности шумового сигнала по уровню -3 дБ, ГГц	0,5
Тип сигнала	Шум
Ширина луча излучателя антенны в угломестной и азимутальной плоскостях, град.	20 и 80
Длина синтезированной апертуры, м	0,7
Разрешение по азимуту на расстоянии 50м, м	0,3
Разрешение по дальности, м	0,3

2. ФОРМИРОВАНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ

Для пространственно-временной обработки сигналов, полученных с помощью описанного выше шумового РСА, используется прямой алгоритм (range-Doppler) формирования когерентных радиоизображений. Такой алгоритм предусматривает согласованную фильтрацию и когерентную пространственную обработку радиолокационных сигналов. В течение времени приема-передачи сигнала в отдельном положении излучателя антенны ленты остаются неподвижными, и поэтому формирование когерентных радиоизображений может быть осуществлено в два этапа: сжатие сигналов 1) по дальности и 2) по азимуту, суть которых кратко описана ниже.

Рассмотрим сжатие сигналов по дальности. Предположим, что на плоскости расположена точечная цель, имеющая координаты (x, y) . Обозначим расстояние от объекта до передатчика радара $l_{Tx}(x, y)$, а до приемника $l_{Rx}(x, y)$. Излучение и прием сигналов осуществляются в фиксированных положениях антенн $a \in [1..n]$. Общее время распространения радиолокационного сигнала на трассе «передающая антенна-отражатель-приемная антенна» $\tau_a(x, y)$ составляет:

$$\tau_a(x, y) = \frac{l_{Tx,a}(x, y) + l_{Rx,a}(x, y)}{c}, \quad (1)$$

где c — скорость распространения электромагнитных сигналов, которую в случае стационарной атмосферы полагаем постоянной и независимой от частоты.

Время (1) — это время запаздывания зондирующего сигнала относительно опорного за счет его распространения до цели и обратно.

Для согласованной фильтрации шумового сигнала используется корреляционная обработка. Оценка корреляции $\hat{R}_a(\tau, T)$ между опорным сигналом и эхо-сигналом $S_{Rx,a}(t + \tau_a(x, y))$ осуществляется через усреднение по времени:

$$\hat{R}_a(\tau, T) = \lim \frac{1}{T} \cdot \int_0^T S_{Tx,a}(t + \tau) \cdot S_{Rx,a}^*(t + \tau_a) dt,$$

где: T — время усреднения, τ — задержка эхо-сигнала, знак * означает комплексное сопряжение.

Координата $\tau = \tau_a$ максимума этой оценки (для случая точечного отражателя) соответствует времени запаздывания эхо-сигнала относительно опорного сигнала $S_{Tx,a}(t+\tau)$. Получение оценки $\hat{R}_a(\tau, T)$ для необходимых τ в каждом положении антенн РСА, называют сжатием сигнала по дальности [11].

Рассмотрим особенности обработки сигналов, связанные с использованием ленточных сканеров. Учет дисперсии сигнала, распространяющегося в прямоугольном волноводе ленточного сканера в ходе перемещения щели, выполнен с учетом постоянной распространения основной волны в волноводе. Постоянная распространения основной волноводной волны $h_{10}(\omega_i)$ на частоте ω_i спектральной составляющей сигнала равна [12]:

$$h_{10}(\omega_i) = 2\pi \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{\lambda_i^2(\omega_i)} - \frac{1}{(2p)^2}},$$

где: λ_i – длина волноводной волны на частоте ω_i , ϵ, μ – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды, заполняющей волновод, p – размер широкой стенки волновода.

В ходе синтезирования апертур антенн щели в ленточных сканерах движутся синхронно, что упрощает учет набега фазы в волноводах приемной и передающей антенн. Набег фазы каждой спектральной составляющей на длине l_a волновода, соответствующей положению излучателей a , равен:

$$\varphi_a(\omega_i) = 2l_a h_{10}(\omega_i).$$

Учет фазовых набегов сигналов в волноводной части используемых антенн удобно выполнить при оценке кросс-корреляции $\hat{R}_a(\tau, T)$ удобно выполнить в спектральной области:

$$\hat{R}_a(\tau) = \sum_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} S_{Tx,a}^*(\omega_i) \frac{S_{Rx,a}(\omega_i)}{e^{j\varphi_a(\omega_i)}} e^{j\omega_i \tau}.$$

Сжатие по азимуту представляет собой фокусировку луча синтезированной апертуры на каждый пиксель радиоизображения. Эта процедура использует сигналы, сжатые по дальности во всех положениях антенн. Фокусировка достигается путем компенсации фазовых набегов распространения сигналов во всех положениях антенн и их последующего суммирования. Учет времени распространения до каждой точки фокусирования, выполненный на центральной частоте сигнала, позволяет сформировать когерентное радиоизображение $I(x, y)$ следующим образом:

$$I(x, y) = \sum_{a=1}^A \hat{R}_a[\tau_a(x, y)] \cdot e^{j\omega_c[-\tau_a(x, y)]},$$

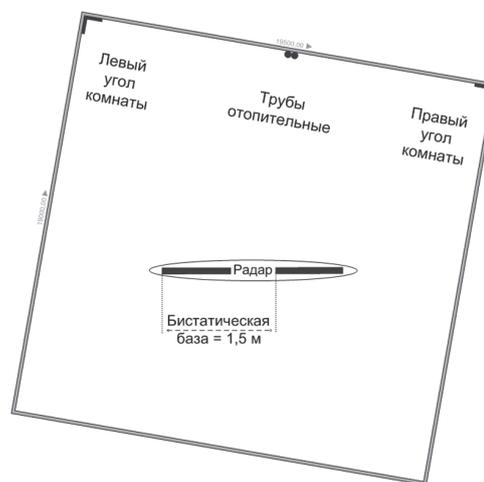
где ω_c – центральная частота спектра сигнала.

Таким образом, формирование когерентных радиоизображений предусматривает согласованную фильтрацию радиолокационного сигнала в каждом положении синтезированных антенн

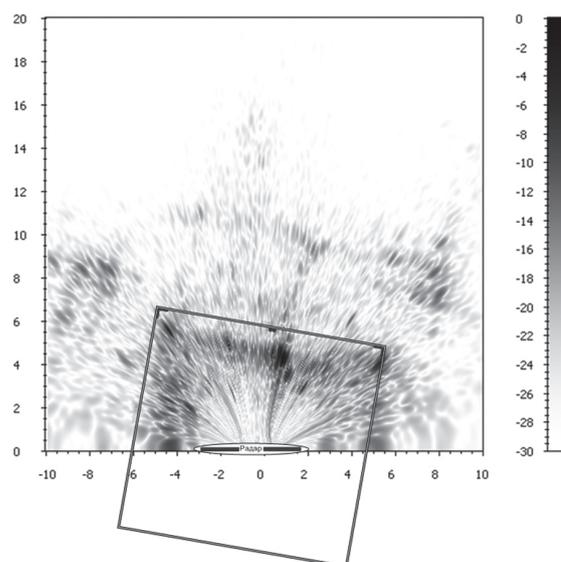
и когерентное накопление соответствующих оценок корреляционных функций, учитывающее фазы распространения сигналов до исследуемой точки.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Оценка стабильности работы наземного шумового РСА 8-мм диапазона проводилась с помощью изучения фазовых искажений, наблюдаемых на дифференциальных интерферограммах, сформированных с его помощью в отсутствие изменений в зоне обзора. В ходе эксперимента аппаратура была развернута внутри одного из помещений лаборатории Отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины. Антенны направлялись на левый верхний угол лаборатории, образованный стенами и потолком, однако, ввиду широкой диаграммы излучателей, в зону обзора радара попал еще один угол комнаты, а также вертикальные металлические трубы системы отопления (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Условия проведения эксперимента: а – положение РСА внутри комнаты; б – когерентное радиоизображение, сформированное в плоскости потолка

Использовалась двухпозиционная конфигурация РСА с неизменным расстоянием между приемной и передающей антеннами равным 1,5 м. Минимизация влияния перемещений самих экспериментаторов обеспечена путем организации дистанционного управления аппаратурой РСА из соседнего помещения. В ходе эксперимента в помещение никто не входил. Оборудование, потенциально влияющее на температурный режим работы аппаратуры, было отключено. В течение первых полутора часов каждого дня сканирование выполнялось каждые 10-20 минут. Далее интервал был увеличен до 1 часа. В течение последних 30 минут первого дня было сделано 4 измерения с малым периодом. На рис. 1б представлен пример когерентного радиоизображения, на котором также показано схематически расположение радара. Наблюдаемые отклики соответствуют положению углов комнаты и металлических труб.

4. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

Формирование дифференциальных интерферограмм осуществляется путем сравнения фаз двух когерентных радиоизображений, полученных при неизменных условиях, но в разное время. Такое сравнение фазы реализуется как поэлементное умножение первого когерентного радиоизображения на комплексно сопряженное второе. Каждый пиксель результирующего радиоизображения содержит амплитудную и фазовую информацию. Амплитуда каждого пикселя равна произведению амплитуд соответствующих пикселей когерентных радиоизображений. Фаза каждого пикселя равна разности фаз соответствующих пикселей когерентных радиоизображений [3]. Радиоизображение, каждый пиксель которого содержит информацию о разности фаз, называется дифференциальной (разностной) интерферограммой. Известное значение длины волны, соответствующей центральной частоте энергетического спектра шумового сигнала, позволяет перейти от измеренной разности фаз к оценке значений возможных смещений отражающей поверхности комнаты. Центральная длина волны $\lambda_0 = 8,16$ мм. Смещение точечного объекта на расстояние $l = \lambda_0/4$ от радара соответствует изменению разностной фазы на 180° .

Эффективная разрядность АЦП составляет 7 бит, что соответствует динамическому диапазону 42 дБ. Это значение использовано в качестве порога, применяемого к когерентным радиоизображениям. Для отображения дифференциальных интерферограмм в градациях серого к ним также применен порог. Пиксели, значение фазы в которых отклоняется от максимума гистограммы более 1 с.к.о. интерферограммы, не отображены (присвоен белый цвет). На рис. 2а приведен пример дифференциальной интерферограммы. Для её формирования использовано 2 когерентных радиоизображения, сформированных после

прогрева аппаратуры (более 200 мин.). Интервал времени между ними равен 62 минуты. Как видно из гистограммы 2б, фазовые сдвиги близки к 0° . Это означает отсутствие сильных изменений как в зоне обзора, так и в аппаратуре РСА. Среднее значение фазы этой интерферограммы (пик гистограммы) равно нулю. Ширина максимума по уровню -3 дБ соответствует среднеквадратическому отклонению фазы и составляет $\sim 3^\circ$. Величина регистрируемого смещения, соответствующая 3° , составляет $l/(180/3) = 0,034 \cdot 10^{-3}$ м. В таком режиме работы аппаратура РСА имеет минимальную инструментальную погрешность измерения смещений.

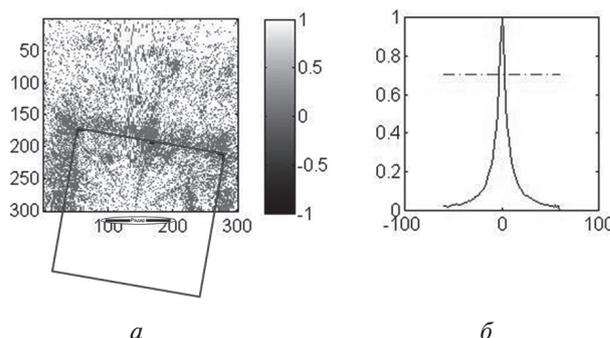


Рис. 2. Результаты разностных фазовых измерений, полученные экспериментально:
а – дифференциальная интерферограмма, полученная после прогрева аппаратуры;
б – фазовая гистограмма

Рассмотрим интерферограмму, сформированную по когерентным радиоизображениям, полученным с интервалом 10 минут в течение первого часа после включения аппаратуры (рис. 3а). На интерферограмме виден уход фазы до значения 50 градусов (рис. 3б), что соответствует величине регистрируемого смещения на $l/(180/50) = 0,5(6) \cdot 10^{-3}$ м.

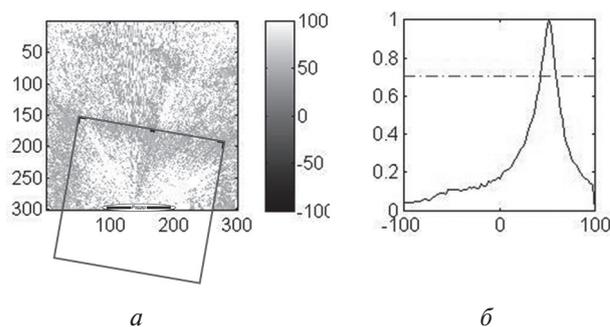
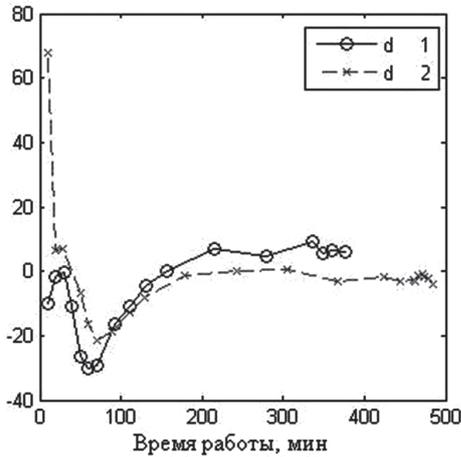


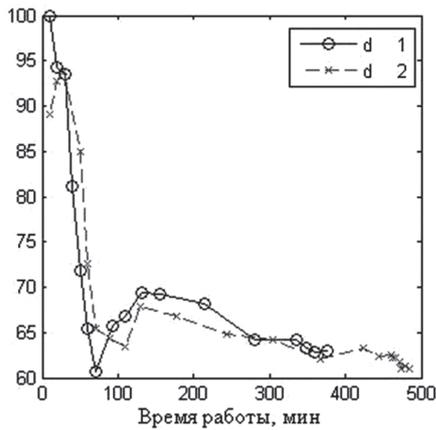
Рис. 3. Результаты измерений разности фаз:
а – дифференциальная интерферограмма, полученная в процессе прогрева аппаратуры;
б – фазовая гистограмма

Проанализируем зависимость среднего значения разностной фазы от времени работы оборудования. В качестве «опорного» радиоизображения выберем радиоизображение, полученное при прогретой аппаратуре. Рис. 4а иллюстрирует изменение средней разности фаз в течение времени прогрева аппаратуры. Кривые соответствуют

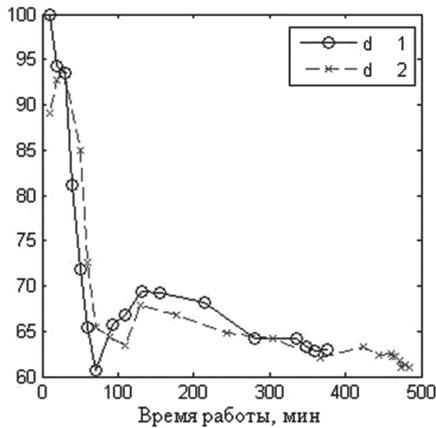
двум дням измерений (двум реализациям прогрева). Самые быстрые изменения фазы происходят сразу после включения РСА. Видно, что в течение первых 3 часов оборудование выходит на рабочий режим. Анализ сигналов показал, что в течение прогрева уровень остаточных флуктуаций на когерентных радиоизображениях изменяется на 1,5 дБ. Мощность опорного сигнала уменьшается в ходе прогрева до 40 % (рис. 4*в*).



a



б



в

Рис. 4. Реализации зависимостей характеристик аппаратуры от времени работы: *a* – временная зависимость среднего значения фазы дифференциальных интерферограмм; *б* – временная зависимость с.к.о. фазы дифференциальных интерферограмм; *в* – временная зависимость мощности опорного сигнала (нормированная, %)

Фрагменты реализаций фазовых зависимостей, соответствующие выходу на рабочий режим (рис. 4*а* до 180 мин.), похожи и заканчиваются близкими значениями в области 0° . Это означает, что фазовые характеристики аппаратуры сохраняются при ее выключении и повторном включении. Используя когерентные радиоизображения, полученные в разные дни (после независимых реализаций прогрева), сформируем дифференциальную интерферограмму (рис. 5*а*).

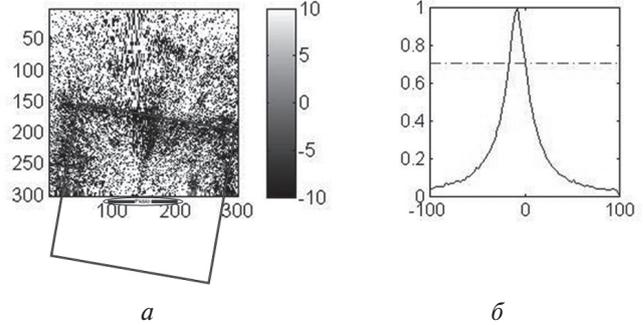


Рис. 5. Результат измерений разности фаз РСА изображений, полученных в разные дни: *a* – дифференциальная интерферограмма; *б* – фазовая гистограмма

Разница во времени между измерениями составляет 24 часа. Среднее значение фазы полученной интерферограммы составляет $0,3^{\circ}$. Среднеквадратическое отклонение разностной фазы равно 10° . Это значит, что использование аппаратуры в таком режиме ограничивает точность относительных фазовых измерений смещений величиной равной $0,1 \cdot 10^{-3}$ м.

ВЫВОДЫ

В работе кратко описаны принципы работы и технические характеристики аппаратуры наземного шумового РСА 8-мм диапазона длин волн (НШ РСА), а также рассмотрен алгоритм формирования когерентных радиоизображений с помощью двухпозиционного РСА. Показаны особенности формирования когерентных радиоизображений с помощью разработанного НШ РСА. Проведен анализ аппаратурной стабильности НШ РСА при измерении смещений инженерной конструкции методом дифференциальной интерферометрии. Достигнутая погрешность измерения смещений наблюдаемых объектов равна $0,034 \cdot 10^{-3}$ м. Показано, что такая погрешность достигается при достаточно продолжительном прогреве аппаратуры РСА. Исследована также возможность измерения смещений с большим интервалом времени получения РСА изображений. Показано ухудшение погрешности измерения смещений в таком режиме до $0,1 \cdot 10^{-3}$ м.

Для дальнейшего совершенствования разработанного НШ РСА целесообразно улучшить стабильность его электронных узлов и, в частности, реализовать температурную стабилизацию генератора зондирующих сигналов.

Литература

- [1] Tarchi D., Rudolf H., Luzi G. SAR Interferometry for Structural Changes Detection: a Demonstration Test on a DAM // Proceedings of the IGASS-1999, Vol. 3, pp.1522-1524.
- [2] Lukin, K.A. Ground Based Noise-Waveform SAR for Monitoring of Chernobyl Sarcophagus // Proceedings of the IRS-2005, Berlin, Germany, 6-8 Sept, 2005, P.655-659.
- [3] Lukin, K.A., Mogyla A.A. Noise Waveform SAR and Differential Interferometry for Detection of Structural Changes in Chernobyl Sarcophagus // Proc. EUSAR 2006, pp. 249.
- [4] Lukin K.A., Mogyla A.A., Palamarchuk V.P., Vyplavin P.L., Zemlyaniy O.V., Shiyani Y.A., Zaets N.K. Ka-band bistatic ground-based noise waveform SAR for short-range applications // IET Radar Sonar Navigation 2008, Vol. 2, No. 4, pp. 233-243.
- [5] Лукин К.А., Могыла А.А., Выплавин П.Л. Оценка фазовых ошибок, вызываемых тракторной нестабильностью РСА наземного базирования // «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», 2005, Том 2.
- [6] Vyplavin P. Phase Errors due to Distortions in Synthetic Aperture Antenna Pattern of Noise Waveform d-InSAR // Proc. SPIE, 2009, Vol. 7502, 6 pp.
- [7] Lukin K.A. Noise Radar Technology // Journal of Telecommunications and Radio Engineering, 2001, Vol. 55, No. 12, pp. 8-16.
- [8] Lukin, K.A. Sliding Antennas for Noise Waveform SAR // Applied Radio Electronics, 2005, Vol. 4, No. 1, pp. 103-106.
- [9] Лукин К.А. Сканирующие антенны с синтезированием диаграммы направленности // Радиоэлектроника. 2010, Том 53, No. 4. стр. 58-64. (спец. выпуск посвященный 90-летию Я.С. Шифрина)
- [10] Lukin K.A., Skresanov V.N., Zemlyaniy O.V. Frequency modulation technique for generation of millimeter wave noise signals // First International Workshop on the Noise Radar Technology, 2002, pp. 171-176.
- [11] Curlander, J., McDonough, R. Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York: John Wiley & Sons, 1991. 672pp.
- [12] Никольский В.В., Никольская В.И. Электродинамика и распространение радиоволн. Москва: Наука, 1989. 544 с.

Поступила в редколлегию 25.01.2012



Выплавин Павел Леонидович, младший научный сотрудник отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины. Область научных интересов: шумовая радиолокация, генерация, синтез и обработка хаотических и псевдослучайных сигналов, формирование РСА изображений.



Кудряшев Владимир Викторович, аспирант отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины. Область научных интересов: обработка случайных сигналов и пассивная радиолокация.



Паламарчук Владимир Петрович, ведущий инженер отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины. Область научных интересов: микроволновые технологии.



Лукин Константин Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом нелинейной динамики электронных систем ИРЭ им. А.Я. Усикова НАН Украины. Область научных интересов: широкополосная шумовая радиолокация и радиосвязь, генерация, синтез и обработка хаотических и псевдослучайных сигналов.

УДК 621.396.962.25

Експериментальна оцінка апаратурної стабільності наземного шумового РСА для диференціально інтерферометричних вимірювань / П.Л. Выплавин, В.В. Кудряшов, В.П. Паламарчук, К.О.Лукін // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2012. Том 11. № 1. — С. 48-53.

Диференціально-інтерферометричні вимірювання використовуються для моніторингу інженерних споруд та виявлення в них структурових змін. З метою провадження такого моніторингу в міліметровому діапазоні довжин хвиль було розроблено апаратуру наземного шумового радару з синтезованою апертурою антен. Мета роботи — оцінювання стабільності цієї апаратури. Проведено моніторинг простої конструкції. Експериментально оцінено похибку вимірювань зсувів об'єкту, здійснених за допомогою цієї апаратури. В роботі наведено результати таких експериментів та необхідні пояснення.

Ключові слова: шумовий радар, формування когерентних радіозображень, диференціальна інтерферометрія.

Табл. 1. Лл. 5. Бібліогр. 12 найм.

UDC 621.396.962.25

Experimental investigation of ground-based noise waveform SAR equipment stability for differential interferometric measurements / P.L. Vyplavin, V.V. Kudriashov, V.P. Palamarchuk, K.A. Lukin // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2012. Vol. 11. № 1. — P. 48-53.

Differential interferometric measurements are used for monitoring engineering structures and detecting their structural changes. Recently a Ka-band ground-based noise waveform SAR which may be applied for the above monitoring has been developed. The paper is devoted to estimating temporal stability of the said SAR equipment. Monitoring of a simple construction has been carried out. The related measurements enabled to estimate the accuracy of differential phase measurements using the mentioned Ka-band noise wave-form SAR. Results of the experiments and their explanations are provided in the paper.

Keywords: noise radar, coherent image forming, differential interferometry.

Tab.: 1. Fig.: 5. Ref.: 12 items.