
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.962.25

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СДВИГОВ ОБЪЕКТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РСА ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

К.А. ЛУКИН, К. КУЛЬПА, В.П. ПАЛАМАРЧУК, П.Л. ВЫПЛАВИН, В.В. КУДРЯШЕВ, Я.КУЛЬПА, Л.В. ЮРЧЕНКО

Дифференциально-интерферометрические измерения используются для наблюдения за инженерными сооружениями и выявления структурных изменений в них. Для осуществления такого мониторинга в миллиметровом диапазоне длин волн была разработана аппаратура наземного шумового радара с синтезированной апертурой антенн. Данная работа посвящена оценке погрешности измерения смещений с помощью этой аппаратуры. Было проведено наблюдение за малоразмерным объектом, перемещаемым с помощью микрометрического винта. В работе описаны основные особенности разработанного наземного шумового РСА, приведены результаты экспериментальной оценки погрешности измерения смещений с помощью метода дифференциальной РСА интерферометрии.

Ключевые слова: шумовой радар, РСА, дифференциальная интерферометрия.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование когерентных радиоизображений с помощью РСА и метода дифференциальной интерферометрии используются во многих задачах дистанционного зондирования для предсказания лавин и оползней и обнаружения предкатастрофических изменений в инженерных сооружениях [1-7]. РСА сохраняют фазовую информацию сигнала, благодаря чему возможно обнаружение смещений на доли длины волны.

Дифференциальная интерферометрия основана на сравнении фаз когерентных радиоизображений, полученных в разное время. Изменения в зоне обзора и (или) в измерительном оборудовании влияют на фазу отраженных и принятых сигналов. Если изменения отсутствовали, то разность фаз между аналогичными элементами (пикселями) когерентных радиоизображений будет равна нулю. Изменения наблюдаемых объектов отражаются на интерферограмме как сдвиг фазы в соответствующих пикселях. Изменение характеристик аппаратуры и/или ее положения во время измерений также вызывает сдвиг фазы в сформированных радиоизображениях. Это может препятствовать обнаружению изменений фазы отраженного от объекта сигнала. Поэтому для регистрации смещений элементов конструкции инженерных сооружений с высокой точностью необходима информация об ошибке, вносимой самой измерительной аппаратурой.

В общем случае на точность интерферометрических измерений влияют нестабильности различных параметров измерительной аппаратуры. По происхождению эти нестабильности могут быть разделены на две группы: механические и электрические. Влияние механических нестабильностей было исследовано ранее в [8].

Влияние электрических нестабильностей было изучено для случая стационарных объектов [9]. В работе [5] показана возможность проведения дифференциальных интерферометрических РСА измерений с погрешностью 0,75 мм при помощи регулярного сигнала со ступенчатой перестройкой частоты в диапазоне 16,80-16,88 ГГц. Погрешность измерения смещений методом дифференциальной интерферометрии не хуже 0,1 мм с регулярным сигналом со ступенчатой перестройкой частоты радара 9,65 ГГц в диапазоне 200 МГц показана в [10]. Азимутальные ошибки пеленгования источников шумового излучения на длине волны примерно 0,1 м оценены экспериментально на протяженных трассах прямой видимости методом измерения разности фаз и составляют порядка 10° [11, 12].

Целью данной работы является оценка погрешности радиолокационных дифференциальных интерферометрических измерений смещений наблюдаемого объекта при переменной базе зондирующего сигнала наземного шумового РСА [1, 6 – 9]. В работе проведен эксперимент по наблюдению с помощью наземного шумового радара с синтезированной апертурой 8-мм диапазона длин волн методом дифференциальной интерферометрии [1] за объектом, перемещение которого контролировалось механическими средствами. Результаты эксперимента позволяют оценить погрешность измерения смещения объекта с помощью исследуемой аппаратуры.

1. ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ

В данной работе свойства шумовых сигналов изучаются на примере двухпозиционного наземного шумового РСА (НШ РСА) [1, 6 – 9]. Структурная схема НШ РСА представлена на

рис. 1. Основными элементами являются: антенная система, приемник, передатчик, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и программно-математическое обеспечение.

Антенная система создана на основе оригинального подхода, включающего в себя принципы одномерной антенной решетки и синтезированной апертуры [13,14]. Вдоль апертуры каждой антенны проведен волновод, широкая стенка которого вскрыта. Данная стенка накрыта медной лентой, в которой прорезана полуволновая излучающая щель. На соответствующем расстоянии от щели на ленте закреплен поршень для повышения эффективности антенны. Шаговый двигатель перемещает ленту со щелью вдоль прецизионных направляющих. Движение ленты позволяет изменять положение фазового центра излучения антенны, благодаря чему осуществляется сканирование, необходимое для РСА. Ленты со щелями для приема-передачи перемещаются пошагово и синхронно. Излучение и прием эхосигналов осуществляются при неподвижных антеннах. Положение излучателя антенны контролируется с помощью датчика угла. Уровень боковых лепестков и ширина синтезированного луча зависят от амплитудного распределения, которое может быть задано на этапе программно-математической обработки.



Рис. 1. Структурная схема наземного шумового РСА 8-мм диапазона длин волн

Формирование зондирующего сигнала выполнено с использованием режима частотной модуляции, предложенного в [15]. Усиленный низкочастотный шум лавинного пробоя р-п перехода транзистора КТ399А модулирует сигнал генератора, управляемого напряжением (ГУН). Форма спектра сигнала может быть гауссовой или близкой к прямоугольной в зависимости от заданных параметров модулирующего сигнала. Сигнал ГУН усиливается, поступает в антенну и обеспечивает зондирование пространства в непрерывном режиме. Часть сигнала ответвляется для использования в последующей корреляционной обработке сигналов в качестве опорного.

Радиоприемное устройство построено по супергетеродинной схеме. Сигнал приемной антенны усиливается и фильтруется. Частота выходного сигнала преселектора преобразуется вниз. На промежуточной частоте сигнал дополнительно усиливается. Сигнал с полосой частот 0,5 ГГц подается на вход двухканального аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Динамический диапазон используемого АЦП (GaGe CompuScore CS82G-1GHz-8M) равен 42 дБ, а частота дискретизации составляет 1 ГГц. Работа НШ РСА осуществляется под управлением микроконтроллера, который, в свою очередь, конфигурируется с помощью компьютера. Максимальный коэффициент усиления радара равен 97 дБ.

Схема преобразователя частоты включает генератор опорной частоты, систему фазовой автоподстройки частоты, умножитель частоты (на 4) и смесители. Кварцевый генератор опорной частоты (9,12 ГГц) термостатирован. Долговременная стабильность гетеродина равна $3 \cdot 10^{-9}$. Основные характеристики НШ РСА приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики наземного шумового РСА 8-мм диапазона длин волн	
Диапазон рабочих частот, ГГц	36,5-37,0
Частота дискретизации АЦП, ГГц	1,0
Ширина спектра мощности, ГГц	0,5
Вид зондирующего сигнала	Шум
Полуширина диаграммы направленности щели по углу места и азимуту, град.	20° и 80°
Длина каждой антенны с синтезированной апертурой, м	0,7

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель эксперимента – измерение смещений объекта методом дифференциальной интерферометрии и оценка погрешности измерений в зависимости от отношения сигнал-шум. Между измерениями объект локации перемещался с помощью микрометрического винта, что позволяло точно определять величину его смещения. Аппаратура НШ РСА установлена в помещении лаборатории (рис. 2). В ходе эксперимента база двухпозиционного НШ РСА была постоянна и равна 2,2 м. Синтезированная апертура длиной 0,35 м была образована путем реализации 118 фиксированных положений щели. Высота расположения приемопередающих антенн с синтезированной апертурой была равна 1,5 м. Для обеспечения механической стабильности и снижения вибраций антенной системы в ходе сканирования использованы металлические треноги, имеющие большую жесткость и массу. В качестве объекта использован металлический шар диаметром 10 см (рис. 2).

Радиолокационная оценка местоположения объекта в лаборатории требует учета переотражений сигналов, принимаемых как главным, так и боковыми лепестками диаграммы

направленности антенны. Мощные переотражения обусловлены влиянием стен лаборатории, стоек с металлическим оборудованием, измерительной аппаратуры и конструкции перемещения объекта. Для снижения влияния наиболее ярких целей через боковые лепестки синтезированной апертуры перед ними были установлены экраны-поглотители. Для выбора наилучшего места для установки объекта – области с наименьшим уровнем мешающих эхосигналов – было сформировано РСА изображение помещения без объекта. РСА изображение комнаты с изучаемым объектом приведено на рис. 3. Пунктирной линией на рисунке отмечены контур лаборатории и местоположение объекта. Размер пикселя на когерентном радиоизображении равен 5×5 см. Горизонтальная дальность до объекта равна 4 м, а наклонная (R) – 4,3 м. Уровень мешающего фона в области объекта локации составляет примерно -25 дБ по отношению к самому мощному отклику на радиоизображении.

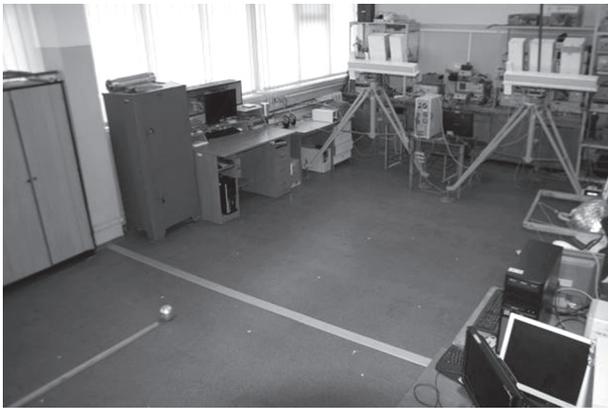


Рис. 2. Условия проведения эксперимента

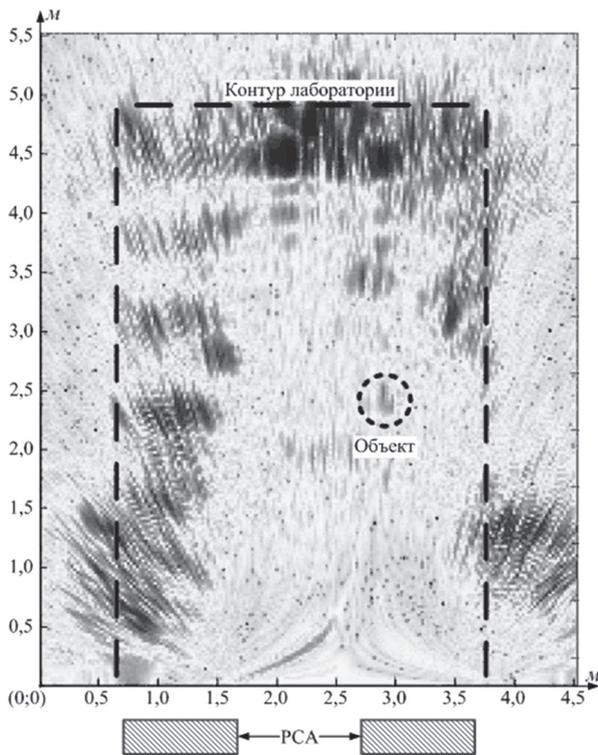


Рис. 3. РСА изображение зоны обзора

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Метод дифференциальной интерферометрии состоит в получении информации об изменениях в объекте путем сравнения фаз когерентных радиоизображений одной и той же зоны обзора, полученных с одной и той же позиции, но в разное время. Это удобно делать путем умножения комплексных значений одного радиоизображения на комплексно сопряженные значения второго. Фаза пикселей полученного изображения будет равна разности фаз исходных когерентных радиоизображений [16]. В однопозиционном приближении разность фазы на интерферограмме $\Delta\varphi$ равна [10]:

$$\Delta\varphi = 4\pi \frac{\Delta r}{\lambda_0},$$

где λ_0 –длина волны шумового сигнала на центральной частоте спектра; Δr – радиальное смещение объекта.

Смещения объекта, вводимые с помощью микрометрического винта, равны [0,25; 0,5; 0,75; 1,00; 1,25; 1,5; 1,75] мм. Погрешность микрометрического винта составляет 0,01 мм. Смещения объекта по дальности отличаются от вводимых смещений, т.к. объект перемещается в горизонтальной плоскости, а измеряется наклонная дальность до него. Установленные значения смещения объекта δ_R с учетом геометрической коррекции равны [0,23; 0,47; 0,7; 0,94; 1,17; 1,40; 1,64] мм.

Известно, что отношение сигнал-шум на выходе радара зависит от величины, равной произведению длительности сигнала на ширину полосы его частот и называемой базой сигнала. В ходе работы база шумового сигнала менялась за счет вариации времени интегрирования и принимала значения [10²; 5·10²; 2·10³; 1,6·10⁴; 6,5·10⁴].

Для измерения значений смещения объекта обработка выполнена по 5 фрагментам записи эхо-сигналов. Разброс значений смещения объекта при различных значениях базы сигнала проиллюстрирован на рис. 4. На данном рисунке приведены зависимости измеренных значений смещения объекта от установленных, а также от базы сигнала. С её увеличением среднее значение измеренных смещений становится ближе к установленным значениям смещений. При базе сигнала 6,5·10⁴ (рис. 4б) разброс между значениями смещения, полученными по разным участкам данных, становится незначительным. Проявляется систематическая погрешность в определении величины смещения. Наименьшее отклонение результатов измерений от заданных значений наблюдается при наибольшей базе сигнала в 6,5·10⁴ (48 дБ).

Для настройки параметров НШ РСА и конструкции перемещения объекта сделано 50 измерений. Совокупное непрерывное время работы НШ РСА для калибровки равно 4,7 часа. Для оценки смещения объекта обрабатывалось

55 радиоизображений, сделанных в течение 2 часов. Минимальное измеренное смещение объекта равно 0,23 мм, что составляет 2,8% длины волны радиолокационного сигнала. При исследованиях за 2 цикла по 3 часа каждый сформировано 321 радиоизображение. Стабильность и надежность электрических параметров НШ РСА позволили формировать когерентные радиоизображения в течение всего периода экспериментальных работ.

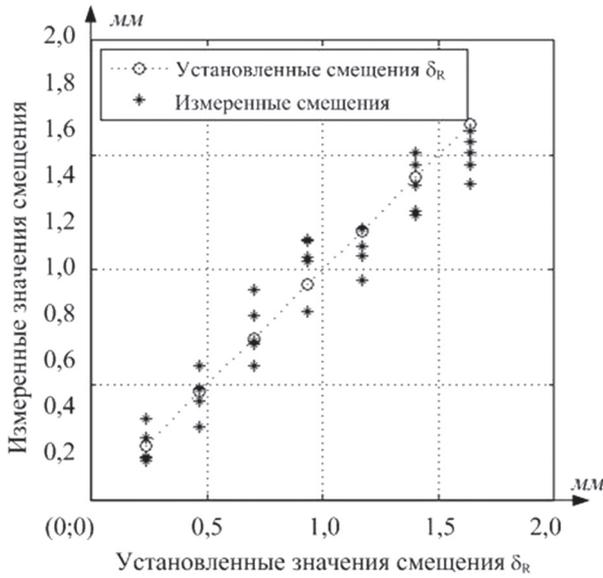
с синтезированной апертурой. Во время экспериментальных исследований оценивали погрешность измерения смещений относительно установленных значений смещения и среднего измеренного значения.

Погрешность измерения смещений оценивалась в каждом положении объекта по величине среднеквадратического отклонения (std_i , мм) измеренных значений от их среднего:

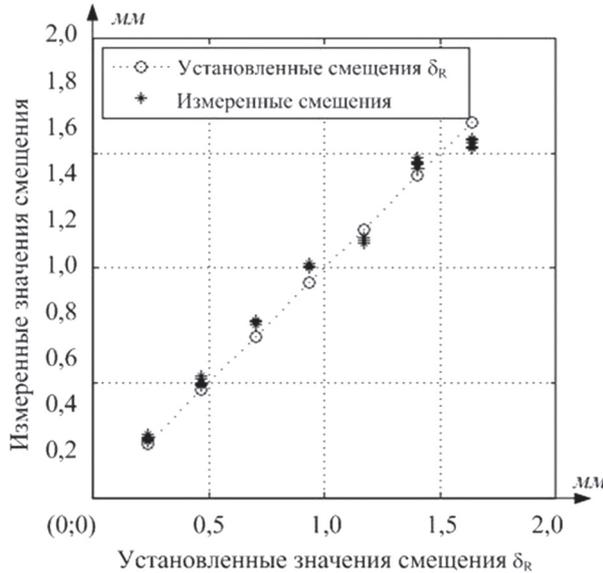
$$std_i = \sqrt{\left\langle \sum_{i=1}^8 [din_i - m_i]^2 \right\rangle}, \quad (1)$$

где: $i = 0,1..8$ – номер смещения объекта; din_i , мм – оценки смещения объекта, полученные методом дифференциальной интерферометрии; m_i , мм – усредненная по 5 реализациям оценка смещения объекта; $\langle \rangle$ означает статистическое усреднение.

Для оценки погрешности измерения относительно установленных значений смещения используем среднеквадратическое отклонение (СКО) результатов измерений от установленных значений смещения (рис. 5, 6). Обозначим такое отклонение через std_i^{screw} . Для оценки величины std_i^{screw} среднее значение m_i в выражении 1 заменено на величины установленных значений смещения объекта. Сравнение величин на рис. 5 и рис. 6 показывает, что увеличение базы сигнала закономерно приводит к уменьшению разброса данных.



а



б

Рис. 4. Результаты измерения смещения объекта: а – при базе сигнала $5 \cdot 10^2$; б – при базе сигнала $6,5 \cdot 10^4$

В изучаемой аппаратуре присутствует систематическая погрешность, связанная с прогревом ее элементов. Дополнительные вибрации в зоне обзора могут проявляться в виде ложной разности фаз между измерениями. Статистические погрешности связаны с шумами радара, температурным режимом аппаратуры и механическими точностями при сканировании антенн

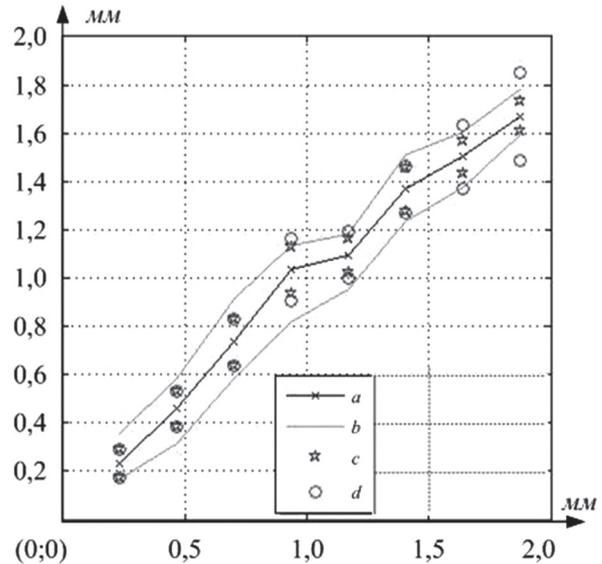


Рис. 5. Зависимость измеренных оценок смещения объекта от величины его смещения при базе сигнала в $5 \cdot 10^2$: а – средние значения измеренных смещений m_i ; б – разброс значений измеренных смещений; с – разброс значений СКО std_i относительно m_i ; д – разброс значений СКО std_i^{screw} относительно m_i

Зависимости погрешностей std_i и std_i^{screw} от установленных значений смещения представлены при различных базах сигналов (рис. 7). Наибольшая величина погрешности наблюдается при наименьшей базе сигнала в 10^2 . Увеличение

времени интегрирования приводит к уменьшению шума на изображениях и соответственно к уменьшению СКО.

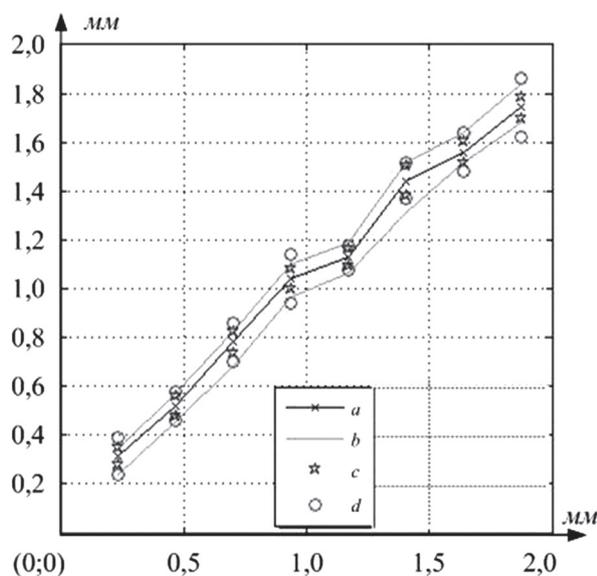


Рис. 6. Зависимость измеренных оценок смещения объекта от величины его смещения при базе сигнала в $2 \cdot 10^3$: *a* – средние значения измеренных смещений m_i ; *b* – разброс значений измеренных смещений; *c* – разброс значений СКО std_i относительно m_i ; *d* – разброс значений СКО std_i^{screw} относительно m_i

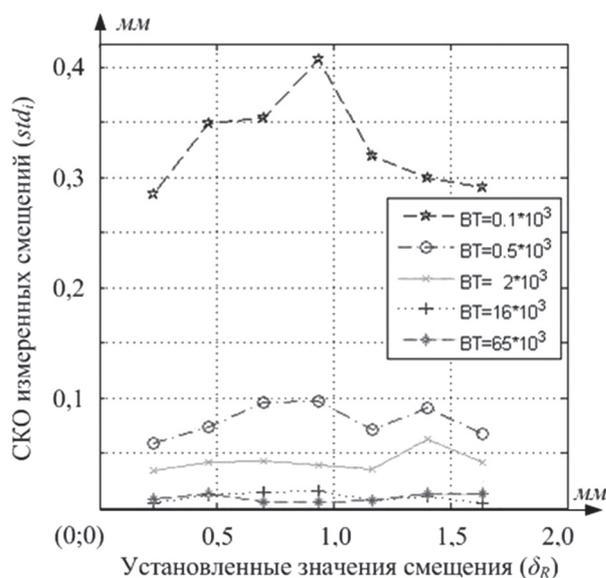
Динамический диапазон используемого АЦП равен 42 дБ. Поэтому снижение погрешности оценок смещения объекта при увеличении базы с $1,6 \cdot 10^4$ к $6,5 \cdot 10^4$ на рис. 7 незначительное (1,1 раза). Как видно из хода кривых на рис. 7, существенная зависимость величины погрешности от величины установленных значений смещения отсутствует в рассмотренном диапазоне смещений. Это хорошо согласуется с тем фактом, что величина смещения объекта меньше элемента разрешения НШ РСА. Благодаря этому смещение объекта приводит преимущественно к однородному изменению фазы в пикселе интерферограмм, соответствующем положению объекта.

Усреднение std_i^{screw} по установленным значениям смещения позволяет исследовать зависимость точности измеренных смещений объекта от отношения сигнал-шум. Входное отношение сигнал-шум оценено при базе шумового (зондирующего) сигнала НШ РСА 10^2 как отношение мощности эхо-сигнала к мощности шума. Выходное отношение сигнал-шум рассчитано как произведение отношения сигнал-шум на входе и базы сигнала.

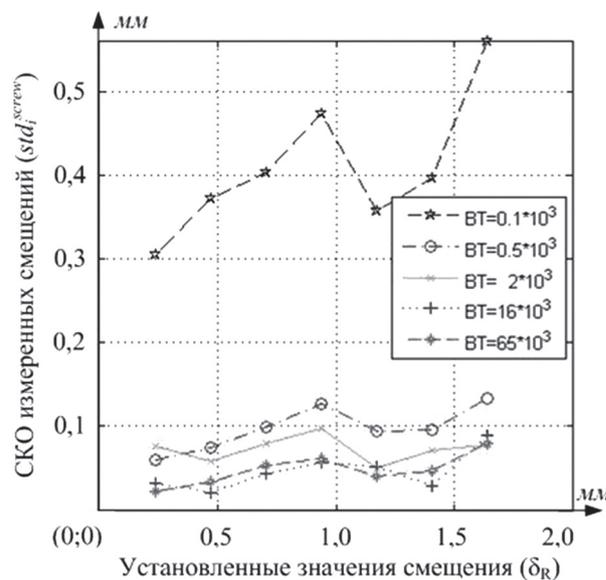
РСА сохраняют фазовую информацию относительно опорного сигнала. Точность измерения дальности σ_r^2 равна [17]:

$$\sigma_r^2 = \left(\frac{1}{2\pi} \frac{\lambda_0}{q} \right)^2, \quad (2)$$

где q – выходное отношение сигнал-шум по напряжению.



a



b

Рис. 7. СКО измеренных величин смещения объекта: *a* – СКО относительно среднего значения смещения; *b* – СКО относительно вводимых значений смещения

На рис. 8 приведены зависимости СКО измеренного смещения относительно установленных значений смещения std_i^{screw} , относительно среднего значения std и теоретическая зависимость СКО от отношения сигнал-шум σ_r . Согласно (2) погрешность измерения обратно пропорциональна отношению сигнал-шум. Из величин, приведенных на рис. 8, следует соответствие между теоретической кривой и СКО относительно измеренных значений смещения. Ограничение погрешности измерений относительно установленных значений смещения вызвано систематической ошибкой измерения смещения за счет тепловых и механических факторов.

Данные, описывающие связь между используемым временем усреднения и погрешностью измерения смещения объекта, приведены в табл. 2.

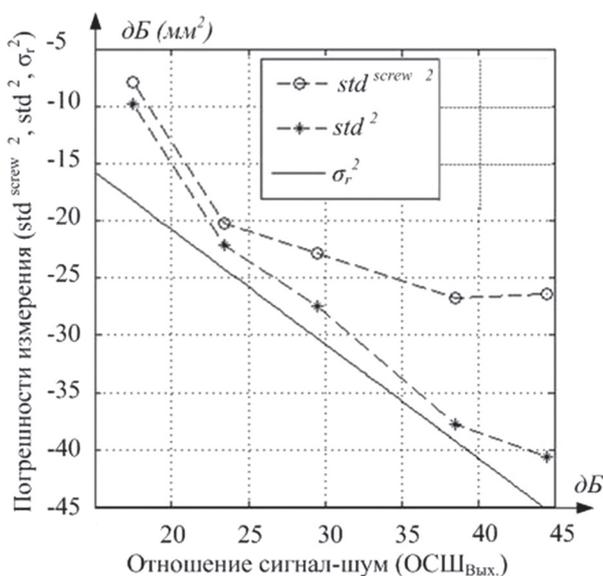


Рис. 8. Погрешность измерения смещения объекта в зависимости от отношения сигнал-шум

Таблица 2

Время усреднения в НШ РСА, мкс	Погрешность измерения смещения объекта, мм
0,25	0,3293
1	0,0792
4	0,0425
32	0,0128
130	0,0092

ВЫВОДЫ

С помощью двухпозиционного наземного шумового РСА 8-мм диапазона длин волн обнаружено и измерено смещение объекта, находящегося на дальности 4 м, на величину 0,23 мм. Экспериментально получена зависимость погрешности измерения смещения объекта от отношения сигнал-шум. Изменение отношения сигнал-шум реализовано за счет вариации базы шумового сигнала от 10^2 до $6,5 \cdot 10^4$. Погрешность радиолокационных измерений, проведенных с помощью метода дифференциальной интерферометрии, обратно пропорциональна выходному отношению сигнал-шум. Наблюдалось ограничение точности измерения смещения с увеличением времени интегрирования, обусловленное ограниченным динамическим диапазоном 8-битного АЦП. Продемонстрирована возможность измерения смещения объекта с погрешностью 0,04 мм. Полученная зависимость погрешности измерений смещения за счет шумов аппаратуры от базы сигнала согласуется с известной оценкой потенциальной точности [17].

Литература

[1] 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 // Radar, Sonar & Navigation, IET 2008. Vol. 2, No. 4, pp. 233-243.
 [2] Tarchi D., Rudolf H., Luzi G., Chiarantini L., Coppo P., Sieber A.J. SAR Interferometry for Structural Changes

Detection: a Demonstration Test on a DAM // Proceedings of the Geoscience and remote sensing symposium, IGARSS 1999. Vol. 3, pp. 1522-1524.
 [3] Tarchi D., Rudolf H., Pieraccini M., Atzeni C. Remote monitoring of buildings using a ground-based SAR: application to cultural heritage survey // International Journal of Remote Sensing 2000. Vol. 21, No.18, pp. 3545-3551.
 [4] Tarchi D., Casalgi N., Moretti S. Monitoring landslide displacements by using ground-based synthetic aperture radar interferometry: Application to the Ruinon Landslide in the Italian Alps // Journal of Geophysical Research 2003. Vol. 108, No. 8., pp. 2-14.
 [5] Antonello G., Casagli N., Farina P., Leva D., Nico G., Sieber A.J., Tarchi D. Ground-based SAR interferometry for monitoring mass movements // Landslides 2004. Vol. 1, No. 1, pp. 21-28.
 [6] Lukin, K.A., Mogyla, A.A. Noise Waveform SAR and Differential Interferometry for Detection of Structural Changes in Chernobyl Sarcophagus // Proceedings of the EUSAR 2006, pp. 249.
 [7] Lukin, K.A., Mogyla, A.A., Palamarchuk V.P. et. al. Measurement of Shifts in Bell Tower of Sophia Cathedral Using Ka-band Noise Waveform SAR // Proceedings of the MRRS 2008, pp. 134-137.
 [8] Vyplavin P. Phase Errors due to Distortions in Synthetic Aperture Antenna Pattern of Noise Waveform d-InSAR // Proc. SPIE, 2009, Vol. 7502, 6 pp.
 [9] Lukin K.A., Palamarchuk V.P., Vyplavin P.L., Kudriashov V.V. Experimental Investigation of Factors Affecting Stability of Interferometric Measurements with Ground Based Noise Waveform SAR // International Journal of Electronics and Telecommunications 2011. Vol. 57, No. 3, pp 389-393.
 [10] Norland R. Differential Interferometric Radar For Mountain Rock Slide Hazard Monitoring // Geoscience and Remote Sensing Symposium IEEE IGARSS 2006, pp. 3293-3296.
 [11] И.Д. Гонтарь, Ф.В. Кивва, В.Б. Рассказовский, В.Б. Синицкий, В.Ф. Шульга. Экспериментальное изучение влияния неоднородной трассы на азимутальные ошибки пеленгования // Радиофизика и электроника, 2006. — Т. 11, № 2. — С. 222-228.
 [12] Кулёмин Г.П., Рассказовский В.Б., Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами. — Киев : Наук. думка, 1987. — 232 с.
 [13] Lukin, K.A. Sliding Antennas for Noise Waveform SAR // Applied Radio Electronics, 2005, Vol. 4, No. 1, pp. 103-106.
 [14] Лукин К.А. Сканирующие антенны с синтезированной диаграммой направленности // Радиоэлектроника. 2010, Том 53, No. 4. стр. 58-64. (спец. выпуск, посвященный 90-летию Я.С. Шифрина)
 [15] 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.
 [16] Curlander, J., McDonough, R. Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York: John Wiley & Sons, 1991. 672pp.
 [17] Ширман Я.Д., Манжос В.Н., Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. — М.: Радио и связь, 1981. — 416 с., ил.

Поступила в редколлегию 08.06.2012



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



Кульпа Кшиштоф, профессор, преподаватель Варшавского Технологического Университета, заведующий лабораторией по обработке сигналов, глава группы радиолокационных технологий, председатель конференции по обработке сигналов SPS-2011.



Паламарчук Владимир Петрович, ведущий инженер отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ НАН Украины. Область научных интересов: микроволновые технологии в радиолокационных системах.



Выплавин Павел Леонидович, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ 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 НАН Украины. Область научных интересов: обработка случайных сигналов в многопозиционных радиолокационных системах.



Кульпа Януш, получил звание бакалавра в области электроники и вычислительной техники Варшавского Технологического Университета в 2011 году, студент Варшавского Технологического Университета. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, пассивная радиолокация, шумовая радиолокация, CUDA программирование, конструирование сигналов.



Юрченко Лидия Валерьевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ им. А.Я.Усикова НАН Украины, г. Харьков. Область научных интересов: моделирование динамического хаоса в электронных системах, автогенерации широкополосных шумовых сигналов и ультракоротких импульсов.

УДК 621.396.962.25

Експериментальна оцінка точності вимірювання зсувів об'єкта при використанні методу диференціальної РСА інтерферометрії / К.О.Лукин, К. Кульпа, В.П. Паламарчук, П.Л. Выплавин, В.В. Кудряшов, Л.В. Юрченко // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2012. – Том 11. № 3. – С. 366–372.

Диференціально-інтерферометричні вимірювання використовуються для спостереження інженерних споруд та виявлення в них структурових змін. Для провадження такого моніторингу в міліметровому діапазоні довжин хвиль було розроблено апаратуру наземного шумового радару з синтезованою апертурою антен. Робота присвячена оцінюванню похибки вимірювання зсувів за допомогою цієї апаратури. Проведено моніторинг малорозмірного об'єкта, який було переміщено за допомогою мікрометричного гвинта. В роботі наведено опис основних особливостей розробленого наземного шумового РСА, наведено схему експерименту та його результати.

Ключові слова: шумовий радар, РСА, диференційна інтерферометрія.

Табл. 2. Іл. 9. Бібліогр. 12 найм.

UDC 621.396.962.25

Experimental estimation of the accuracy of the object shifts measurement using differential SAR interferometry method / K.A. Lukin, K. Kulpa, V.P. Palamarchuk, P.L. Vyplavin, V.V. Kudriashov, Ya. Kulpa, L.V. Yurchenko // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2012. Vol. 11. № 3. – P. 366–372.

Differential interferometric measurements are used for monitoring of engineering structures and detecting their structural changes. A ground-based noise waveform SAR has been developed to perform such a monitoring in the Ka-band. The paper is devoted to estimating the error of measuring shifts with the help of this equipment. Monitoring a small object displaced with the help of a micrometric screw has been carried out. The paper describes the main peculiarities of the developed ground-based noise waveform SAR and provides results of the experimental estimation of the error of measuring displacements with the aid of differential SAR interferometry method.

Keywords: noise radar, SAR, differential interferometry.

Tab.: 2. Fig.: 9. Ref.: 12 items.