

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ ГИБКИХ ДВУМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПРИВОДА

М.Б. Сокил, О.И. Хытряк

В статье разработана методика исследования резонансных колебаний двумерных гибких элементов систем привода. Получены аналитические зависимости, описывающие законы изменения амплитуды в зоне резонанса. Проведен анализ влияния скорости и нелинейных сил на значение резонансной амплитуды.

Ключевые слова: нелинейные колебания, амплитуда, частота, резонанс, асимптотический метод.

THE METHOD OF INVESTIGATION OF RESONANT OSCILLATIONS OF TWO-DIMENSIONAL FLEXIBLE ELEMENTS OF THE DRIVE

M. Sokil, O. Khytriak

In this paper a method of investigation of resonant oscillations of two-dimensional flexible elements of the drive is developed. The analytical dependencies describing the laws of variation of the amplitude in the resonance zone are received. The analysis of the impact of velocity and the nonlinear forces on the resonant amplitude has been carried out.

Keywords: nonlinear vibration, amplitude, frequency, resonance, the asymptotic method.

УДК 621:533

В.І. Чигінь¹, Р.І. Гушак²

¹ Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

² НУ «Львівська політехніка», Львів

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАЄКТОРІЇ СНАРЯДІВ І МІН ПАСИВНОЮ РІЗНИЦЕВО-ФАЗОВОЮ РАДІОЛОКАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ

Теоретично оцінено похибки вимірювання координат польоту снаряда-маяка при використанні пасивної різницево-фазової радіолокаційної системи. Отримано формули для обчислення трьох координат снаряда при використанні чотирьох приймальних антен, розміщених Т-подібно. Проведено чисельне моделювання відносної похибки з використанням логарифмічного методу. Досліджено залежності цієї похибки від відстані між двома антенами і відстані від снаряда-маяка до базової антени в одновимірному випадку. При цьому частоту випромінювання радіосигналу снарядом-маяком задано 433 МГц, а абсолютну похибку вимірювання різниці фаз – один градус, оскільки досягнуто таку точність. Показано, що при цьому можна досягнути точності вимірювання координати польоту снаряда 0,1% при відстанях до нього 100 м, 3000 м і 10000 м і відповідних відстанях між приймальними антенами 19,9 м, 108 м і 196 м. При збільшенні похибки вимірювання до 0,5% необхідні відстані між приймальними антенами знижуються, відповідно, до 8,8 м, 48 м і 88 м. Використання снаряда-радіомаяка в якості сигналізатора і приймальної антенної системи дозволяє отримати поправки для стрільби з артилерійських систем без використання активних радіолокаційних систем типу АРК.

Ключові слова: пасивна радіолокація, різницево-фазова системи, антени, траєкторія, снаряд, міна.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури. Відомо, що для отримання поправок для стрільб з артилерійських систем використовують, зокрема, активні радіолокаційні системи типу АРК і СНАР [1]. У працях [2, 3] автори запропонували використати снаряд-маяк для пасивного вимірювання відхилень від траєкторії його польоту, обчисленої за стандартних умов. У роботі теоретично оцінено похибки

вимірювання координат польоту снаряда-маяка при використанні пасивної різницево-фазової радіолокаційної системи.

Метою праці є обґрунтування пасивного радіолокаційного методу з вимірюванням різниць фаз радіосигналів від снаряда-маяка на кількох приймальних антенах. Для наочності оцінено в одновимірному випадку відносну похибку вимірювання віддалі до снаряда-маяка при задаванні різних відстаней між двома приймальними антенами,

розміщеними перпендикулярно до напрямку польоту снаряда.

Основна частина

Принципова схема пасивного радіолокаційного вимірювання координат снаряда-маяка. Останній містить генератор імпульсів з частотою 433 МГц, а також програмований таймер, призначений для пуску генератора через певний, наперед заданий інтервал часу після пострілу. Наземна приймальна радіосистема включає 4-5 антен, рознесених на певну віддаль, в залежності від необхідної точності вимірювання при заданій дальності стрільби. У момент пострілу синхронно вмикаються бортовий і наземний таймери. При польоті снаряда-маяка у певний час вмикається бортовий генератор імпульсів на короткий час, і випромінення вловлюється приймальними антенами. Прийняті сигнали дешифруються, і обчислюються координати снаряда.

Теоретичні аспекти вимірювання різницево-фазовим методом. Для визначення координат снаряда на траєкторії польоту у роботі використовуємо чотири приймальні антени, розміщені Т-подібно (рис. 1).

На рис. 1 зображено: А0-А3 – приймальні антени, С – снаряд на траєкторії, x, y, z – координати снаряда. Використовуючи просторову теорему Піфагора і те, що різниці фаз $\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2, \Delta\varphi_3$ між центральною антеною А0 і сусідами А1-А3 є прямо пропорційною до геометричної різниці ходу радіосигналу від снаряда до кожної з антен, отримуємо формули для трьох координат снаряда. Для прикладу наводимо одну з них – для координати y при відстані між антенами, яка дорівнює половині довжини хвилі λ

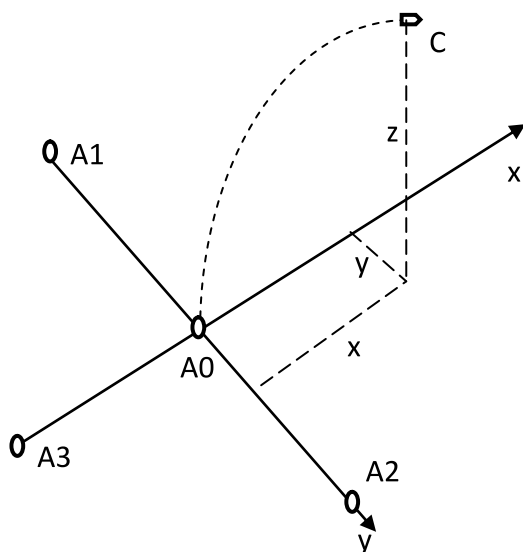


Рис. 1. Схема вимірювання координат снаряда

$$y = \frac{\lambda(\Delta\varphi_3 - \Delta\varphi_2)(\pi^2 + \Delta\varphi_3\Delta\varphi_2)}{4\pi^2(\Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3)}. \quad (1)$$

Формули для отримання складових x і z є суттєво складнішими.

Одновимірний випадок. Для спрощення обчислень різниці фаз, координат і похибки вимірювання прийняли одновимірний випадок польоту снаряда (по осі x). При цьому одна антена розташовується у точці вильоту снаряда, інша – на осі y на відстані S від першої. Отримали формулу для різниці фаз між двома радіосигналами, які приходять до цих антен

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\sqrt{S^2 + x^2} - x \right). \quad (2)$$

Як видно з цієї формули, різниця фаз спадає від значення $\frac{2\pi}{\lambda}S$ до нуля при збільшенні віддалі до снаряда від нуля до нескінченності. При цьому різниця фаз може приймати нульове значення кілька разів на траєкторії. Оскільки фазометр типу AD8302ARUZ вимірює різницю фаз у межах $0 - 180$ градусів, для визначення координати x слід передбачити встановлення лічильника кількості переходів різниці фази через нульове значення.

При заданні точності вимірювання фазометром різниці фаз $\Delta\varphi_M$ (наприклад, схема AD8302ARUZ дозволяє вимірювати мінімальну різницю 1 градус) отримуємо формулу для максимальної дальності польоту снаряда x_{MX} , при якій різниця фаз на двох антенах дорівнює $\Delta\varphi_M$

$$x_{MX} = \frac{k}{2\Delta\varphi_M} \left(S^2 - \frac{\Delta\varphi_M}{k^2} \right), \quad (3)$$

де $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хвильовий вектор.

На рис. 2 зображено обчислену за формулою (3) залежність максимальної координати снаряда x_{MX} від відстані між антенами S при заданій мінімальній похибці фазометра $\Delta\varphi_X = 1$ градус. Як видно з графіка, максимальна віддаль фіксації координати даним фазометром різко зростає при збільшенні віддалі між антенами.

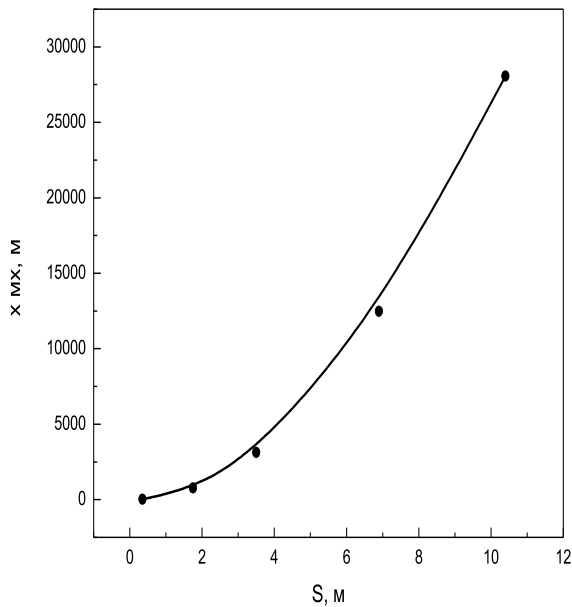


Рис. 2. Залежність максимальної координати снаряда від відстані між антенами при заданій мінімальній похибці фазометра

Відносна похибка вимірювання координати в одновимірному випадку отримується за формулою

$$\delta x = \frac{\Delta \varphi_M \sqrt{S^2 + x^2}}{kx (\sqrt{S^2 + x^2} - x)} 100\% . \quad (4)$$

Підставивши у формулу (4) бажану точність вимірювання координати снаряда (0,1%, 0,5% і 1%), отримуємо залежність відстані між антенами S від максимальної дальності x_{MX} , при якій ще забезпечується ця похибка. На рис. 3 зображено обчислені залежності відстані між антенами S від максимальної дальності x_{MX} при заданих відносних похибках вимірювання координати.

Як видно з графіків, чим точніше потрібно провести вимірювання на заданій віддалі до снаряда-маяка, тим на більшу відстань потрібно розмістити антени. Особливо великі відстані слід забезпечити при точності 0,1% вимірювання координати.

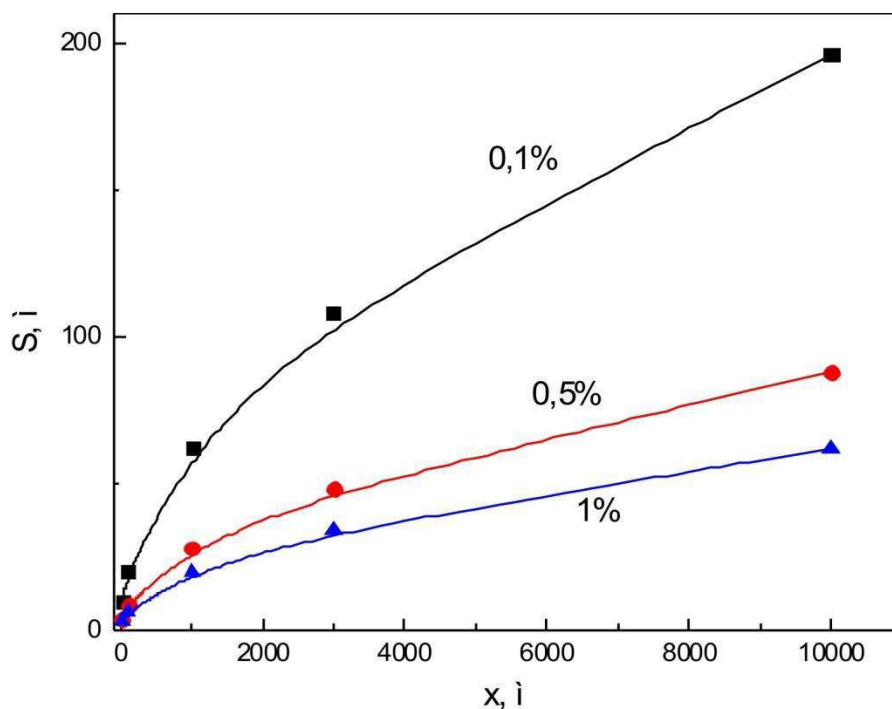


Рис. 3. Залежності відстані між антенами S від максимальної дальності x_{MX} при заданих відносних похибках вимірювання координати

Висновки

На основі проведених аналізів точності різницево-фазового методу вимірювання координат снаряда-маяка можна стверджувати про можливість його практичної реалізації для створення пасивної радіолокаційної системи

отримання поправок для корекції артилерійської стрільби.

Фазовий детектор для визначення різниці фаз між двома синусоїдальними сигналами від снаряда-маяка можна реалізувати на основі суматора та інтегратора або на основі перемножувача та інтегратора. Мікросхема

AD8302 працює в широкому діапазоні частот (до 2,7 ГГц) і забезпечує нелінійність фазового детектора не більше 1 град. у діапазоні від 30 до 140 град.

Список літератури

1. Правила стрільби і управління вогнем наземної артилерії. Група, дивізіон, батарея, взвод, гармата / [В.М. Рябоконт, П.Й. Руденко, П.В. Полениця, О.В. Сміронов]. – Л.: Видавництво ЛІСВ, 2009. – 292 с.

2. Пат. № 58085 Україна, МПК (2011.01) F41G3/00. Спосіб отримання поправок для стрільби / В.І. Чигинь, С.М. Свідерок; заявник і патентовласник Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного; заявка № u201012233; опуб. 25.03.2011, Бюл. № 6.

3. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ: Збірка тез доповідей 4 всеукр. наук.-тех. конф., 12-13 квіт. 2011 р. / Академія сухопутних військ. – Л.: АСВ, 2011. – 208 с.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИИ СНАРЯДОВ И МИН ПАССИВНОЙ РАЗНОСТНО-ФАЗОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

В.И. Чигинь, Р.И. Гушак

Теоретически оценены погрешности измерения координат полета снаряда-маяка при использовании пассивной разностно-фазовой радиолокационной системы. Получены формулы для вычисления трех координат снаряда при использовании четырех приемных антенн, размещенных T-подобно. Проведено многочисленное моделирование относительной погрешности с использованием логарифмического метода. Исследовано зависимости этой погрешности от расстояния между двумя антеннами и расстояния от снаряда-маяка к базовой антенне в одномерном случае. При этом частоту излучения радиосигнала снарядом-маяком задано 433 Мгц, а абсолютную погрешность измерения разницы фаз - один градус, поскольку достигнута такая точность. Показано, что при этом можно достичь точности измерения координаты полета снаряда 0,1% при расстояниях до него 100 м, 3000 м и 10000 м и соответствующих расстояниях между приемными антеннами 19,9 м, 108 м и 196 м. При увеличении погрешности измерения до 0,5% необходимые расстояния между приемными антеннами снижаются, соответственно, до 8,8 м, 48 м и 88 м. Использование снаряда-радиомаяка в роли сигнализатора и приемной антенной системы позволяет получить поправки для стрельбы из артиллерийских систем без использования активных радиолокационных систем типа АРК.

Ключевые слова: пассивная радиолокация, разностно-фазовая системы, антенны, траектория, снаряд, мина.

ESTIMATION OF ACCURACY OF MEASURING OF PARAMETERS OF TRAJECTORY OF SHELLS AND MINES BY THE PASSIVE DIFFERENCE-PHASE RADAR SYSTEM

V. Chyhin, R. Huschak

In theory the errors of measuring of co-ordinates of flight of shell-lighthouse are estimated at the use of the passive difference-phase radar system. Formulas are received for the calculation of three coordinates of shell at the use of four receiving aeriels, placed as T-figure. The numeral design of relative error with the use of logarithmic method has been conducted. Dependences of this error on distance between two aeriels and distance from a shell-lighthouse to base aerial in one-dimension case have been investigated. Thus frequency of radiation of radio signal was set a shell-lighthouse 433 Mhz, and absolute error of measuring of difference of phases - one degree, since achieved such accuracy. It is shown that it is here possible to attain accuracy of measuring of shell flight coordinate 0,1% at distances to it 100 m, 3000 m and 10000 m and the proper distances between receiving aeriels 19,9 m, 108 m and 196 m. At the increase of measuring error to 0,5% required distance between receiving aeriels goes down, accordingly, to 8,8 m, 48 m and 88 m. The use of shell-radiobeacon in the role of signaling and receiving aerial system allows to get corrections for firing from the artillery systems without the use of such active radar systems as automatic direction finder.

Keywords: passive radio detection and ranging, difference-phase systems, aeriels, trajectory, shell, mine.