

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ ТРАЄКТОРІЇ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ СТЕЖЕННЯ ЗА МІНОМЕТНИМИ СНАРЯДАМИ

Д. т. н. А. П. Бондарєв, к. т. н. С. І. Алтунін, к. т. н. І. П. Максимів

Національний університет «Львівська політехніка»

Україна, м. Львів

andrii.p.bondariev@lpnu.ua, serhii.i.altunin@lpnu.ua, ivan.p.maksymiv@lpnu.ua

Роботу присвячено проблемі стеження за рухом мінометних снарядів із використанням траєкторних вимірювачів на вогневій позиції. Хоча вимірювачі траєкторії сантиметрового діапазону мають кращі сигнальні характеристики, їх використання є неприйнятним через габаритні показники. Результати імітаційного моделювання класичного та модифікованого вимірювачів показали можливість параметричної оптимізації параметрів вимірювачів міліметрового діапазону, що дозволяє збільшити час та дальність стеження за мінометним снарядом.

Ключові слова: мінометний снаряд, траєкторний вимірювач, міліметрового діапазон, час та дальність стеження.

У сучасній війні важливу роль відіграє швидка зміна позицій для артилерійської та мінометної стрільби [1], що можна забезпечити вимірюванням початкової швидкості снаряда із подальшим балістичним розрахунком.

У порівнянні з вимірювачами міліметрового діапазону, вимірювачі сантиметрового діапазону мають кращі радіотехнічні характеристики завдяки ліпшій прохідності радіохвиль у цьому діапазоні частот. Однак використання вимірювачів сантиметрового діапазону потребує антен суттєво більших габаритів, що робить їх непридатними для застосування у польових умовах.

Метою роботи є дослідження класичного та модифікованого пристроїв стеження за траєкторією руху мінометного снаряда шляхом імітаційного моделювання та знаходження оптимальних параметрів вимірювача для забезпечення максимальних часу та дальності стеження за ціллю (снарядом). Розглянуто особливості використання вимірювачів траєкторії міліметрового діапазону, призначених для стеження за швидкістю снаряда ОФ-843, випущених з міномета ПМ-38.

На вхід вимірювача поступає відбитий від цілі сигнал. Початкова швидкість снаряда прийнята рівною $v_0 = -110$ м/с (мінус означає рух від пристрою стеження) та сповільненням $a = 5$ м/с², що відповідає параметрам снаряда для міномета ПМ-38. Час спостереження за снарядом 3,3 с, дальність стеження 317,5 м. Частота радіохвилі рівна 87 ГГц, що відповідає міліметровому діапазону. Враховуючи початкову швидкість, сповільнення та час стеження, доплерівський зсув частоти за час спостереження становитиме $-63,8 \dots -55,1$ кГц із середнім значенням $-59,45$ кГц. На це середнє значення доплерівського зсуву налаштований опорний генератор приймача пристрою стеження, а крайні значення доплерівського зсуву визначають смугу утримання приймача.

Зі збільшенням відстані до цілі $D_{\text{ц}}$ відношення сигнал-шум на вході пристрою буде зменшуватися пропорційно $D_{\text{ц}}^4$. Для моделювання зміни відношення сигнал-шум на вході вимірювача протягом стеження за ціллю введено коефіцієнт пропорційності, значення якого було розраховано у роботі [2] для міліметрового діапазону.

Приймач відбитого від цілі сигналу побудовано на основі пристрою фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), що є оптимальним фільтром для суміші вузькосмугового сигналу та широкосмугового фоновому шуму [3]. Для покращення властивостей завадостійкості приймача та зменшення динамічної похибки стеження використано модифікований пристрій ФАПЧ, що відрізняється від класичного наявністю вузькосмугового фільтра (ВСФ) перед фазовим детектором та активного фільтра верхніх частот (ФВЧ) після фазового детектора, принцип роботи якого детально описаний у [4].

Для дослідження процесу стеження за мінометним снарядом по тестовій траєкторії було розроблено імітаційну модель в програмному середовищі Matlab. Імітаційне моделювання було

проведено для таких значень параметрів пристрою: частота зрізу петльового фільтра нижніх частот (ФНЧ) $f_{LPF} = 1$ кГц, коефіцієнт пропорційності петльового ФНЧ $m = 0,0001$, діапазон зміни частоти зрізу ВСФ $f_{NBF} = 0,01 \dots 1000$ Гц, діапазон зміни коефіцієнта пропорційності ВСФ $m_0 = 0,0001 \dots 0,1$. Критерієм для визначення оптимальних параметрів пристрою було обрано максимальний діапазон стеження за час спостереження.

В результаті багаторазового перебору параметрів пристрою стеження було знайдено параметри ВСФ, що забезпечують як швидше схоплення цілі на початку її руху, так і довший час стеження за ціллю у порівнянні з класичним пристроєм стеження (без ВСФ). Приклад такого результату демонструє рис. 1, який було досягнуто при $f_{NBF} = 0,1$ Гц та $m_0 = 0,001$.

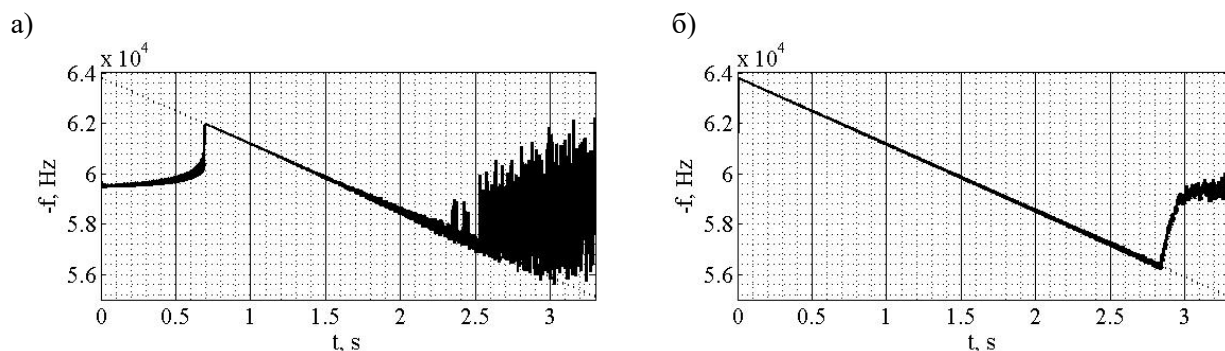


Рис. 1. Фактичне значення доплерівського відхилення (пунктирна лінія) та відхилення частоти керованого генератора (суцільна лінія) для класичного (а) та модифікованого (б) вимірювачів

Як видно з рисунка, класичний вимірювач схоплює ціль через 0,7 с після початку руху снаряда (рис. 1, а), що відповідає пройденій відстані 75 м, а модифікований вимірювач здатний схопити стеження за ціллю практично миттєво з початком руху — менше ніж 0,1 с (рис. 1, б). При цьому зрив стеження для модифікованого вимірювача відбувається орієнтовно через 2,85 с після початку руху, що приблизно на 0,35 с пізніше, ніж для класичного (2,5 с). Ця різниця в часі еквівалентна 30 м пройденій снарядом відстані до моменту зриву стеження.

Таким чином, результати імітаційного моделювання процесів стеження за мінометним снарядом вимірювачем траєкторії міліметрового діапазону показують, що завдяки параметричній оптимізації параметрів вимірювача можна досягти більшої тривалості та дальності стеження за ціллю.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бахмат М. В., Олійник М. Я., Свідерок С. М. та ін. *Керівництво з бойової роботи вогневих підрозділів артилерії*. Львів : НАСВ, 2019. 148 с.
2. Бобало Ю. Я., Бондарев А. П., Бударецький Ю. І., Олійник М. Я. Дослідження траєкторних вимірювачів сантиметрового та міліметрового діапазонів. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*, 2023, вип. 3, № 2, с. 150–157.
3. Van Trees H.L. *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part II: Nonlinear Modulation Theory*. Wiley, 2003. 368 p.
4. Bondariev A., Altunin S., Horbatiy I., Maksymiv I. Firmware implementation and experimental research of the phase-locked loop with improved noise immunity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, № 5/9 (95), p. 17–25.

A. P. Bondariev, S. I. Altunin, I. P. Maksymiv

Modeling of millimeter range trajectory meters for tracking mortar shells

This work is dedicated to the problem of tracking the movement of mortar shells using trajectory meters at the firing position. Although centimeter range trajectory meters have better signal characteristics, their use is not acceptable due to their dimensions. The results of the simulation of the classical and modified trajectory meters show the possibility of parametric optimization of the millimeter range trajectory meters, which allows to increase the time and range of tracking a mortar shell.

Keywords: mortar shell, trajectory meter, millimetre range, tracking time and range.