

УДК 528.9

В.М. Корольов, К.В. Руденко, О.В. Корольова

Львівський інститут Сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного НУ «ЛП», Львів

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ПОХИБОК ЗОВНІШНЬОГО ЦІЛЕВКАЗУВАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДОДАТКОВОГО ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ

В статті проаналізовано залежність похибок зовнішнього цілевказування з використанням додаткового вимірювання відстані від їх складових. Визначено вплив похибок по відстані, куту на точність зовнішнього цілевказування. Проведено всебічний аналіз доцільності використання способу зовнішнього цілевказування з додатковим вимірюванням відстані в механізованих підрозділах.

Ключові слова: зовнішнє цілевказування, оцінка дисперсії, похибка, підвищення точності, вплив складових похибки.

Вступ

Постановка проблеми. Досвід використання систем управління вогнем засвідчує, що її робота не в повному обсязі здатна забезпечити необхідну оперативність і точність віддачі зовнішнього цілевказування (ЗЦВ) [1]. Вітчизняні та іноземні розробники системи управління вогнем бойової машини піхоти (БМП) постійно прагнуть підвищення точності визначення місця розташування цілі, що дає змогу використання штатного озброєння на максимальних відстанях, покращення влучності ведення вогню та збільшення кількості уражених цілей за одиницю часу.

Постає важливе завдання зробити оцінку системи зовнішнього цілевказування з використанням додаткового вимірювання відстані, щодо точності визначення напрямку на ціль. Для вирішення цього завдання необхідно провести аналіз похибок, які впливають на функціональні можливості системи ЗЦВ та встановити природу їх виникнення. Це дозволить визначити оптимальні параметри ЗЦВ, які можуть забезпечити максимально ефективне використання штатних вогневих засобів, зробити оцінку характеристик точності СЗЦ та відповідності щодо вимог ведення сучасного вогневого бою [1].

Підвищення точності визначення місця розташування цілі дає змогу не тільки збільшити вогневі можливості БМП за рахунок влучного ведення вогню під час виконання вогневих завдань та управління вогнем, а й дозволяє знищувати противника на максимальних відстанях. Крім того, це підвищує оперативність дій екіпажу та дає можливість діяти в режимі максимально наближеному до реального часу, що є однією із головних вимог ведення сучасного бою.

Аналіз літератури. Аналіз наукової літератури показав, що вітчизняні військові фахівці та провідних країн НАТО визначаються за декількома підходами та напрямками щодо вирішення цього завдання.

Але слід зазначити що значною мірою зміст праць визначався часом їх виходу в світ.

Так у роботах [2, 3] розглянуто підхід щодо визначення вимог оперативності знаходження цілі.

Але не визначено вплив та залежність похибок які виникають при здійсненні ЗЦВ на оперативність знаходження цілі.

У роботі [4] розглянуто підхід що до оцінки похибок при визначенні параметрів нерухомої цілі з нерухомого об'єкта. Аналіз похибок при визначенні параметрів рухомої цілі зроблено в роботі [5], але підлегла БМП також є нерухомою. Також слід відзначити, що в вище перерахованих роботах оцінка похибок здійснюється при використанні координатного способу ЗЦВ.

Створення системи ЗЦВ для керування штатними діями БМП в складі підрозділу потребує вибору того чи іншого способу ЗЦВ. Це обумовлює доцільність розгляду варіанта ЗЦВ з використанням додаткового вимірювання відстані, його відповідність щодо використання загальновійськовими підрозділами.

Мета статті. Провести аналіз кутових та лінійних похибок при здійсненні ЗЦВ з використанням додаткового вимірювання відстані. Встановити чинники, котрі впливають на ці похибки під час здійснення ЗЦВ, оцінити ступінь їх впливу та визначити вимоги до них.

Викладення основного матеріалу

Одним із головних завдань щодо вдосконалення системи управління вогнем на основі використання системи ЗЦВ, модернізованої лазерним далекоміром, сучасними кутомірними приладами, є забезпечення точного визначення напрямку на ціль [6]. Сутність способу ЗЦВ з додатковим вимірюванням відстані зрозуміла з рис.1 і полягає у визначенні двох параметрів:

- величини $\alpha_{п.ц.}$ – кута між напрямками з підлеглої БМП на ціль та командирську БМП;
- відстані $D_{п.ц.}$ – від підлеглої БМП до цілі.

Після визначення інформація про кут $\alpha_{п.ц.}$ та відстань $D_{п.ц.}$, передається з командирської на підлеглу БМП.

При цьому командирська БМП має бути обладнана лазерним далекоміром та азимутальним покажчиком. Для визначення цих параметрів вимірюється відстані між командирською БМП та ціллю $D_{к.ц.}$; відстані між командирською та підлеглою БМП $D_{к.п.}$; кут між напрямками з командирської БМП на підлеглу БМП та ціль $\alpha_{к.ц.}$.

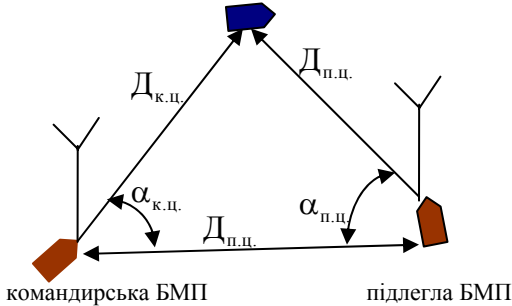


Рис. 1. Цілевказування за допомогою додаткового вимірювання відстані

Відстань $D_{п.ц.}$ визначаємо з формули:

$$D_{п.ц.} = \sqrt{D_{к.ц.}^2 + D_{к.п.}^2 - 2D_{к.ц.}D_{к.п.} \cdot \cos \alpha_{к.ц.}} \quad (1)$$

Для визначення кута $\alpha_{п.ц.}$ використовуємо вираз:

$$\alpha_{п.ц.} = \arccos \frac{D_{к.ц.} \cdot \sin \alpha_{к.ц.}}{\sqrt{D_{к.ц.}^2 + D_{к.п.}^2 - 2D_{к.ц.}D_{к.п.} \cdot \cos \alpha_{к.ц.}}} \quad (2)$$

Бачимо, що величини $D_{п.ц.}$ та $\alpha_{п.ц.}$ є функціями багатьох змінних $D_{к.ц.}$, $D_{к.п.}$ і $\alpha_{к.ц.}$, які містять у своєму складі похибки, що носять випадковий характер. Тоді $D_{п.ц.}$ та $\alpha_{п.ц.}$ можна розглядати як функції випадкових аргументів. Таким чином, в якості похибки визначення $D_{п.ц.}$ та $\alpha_{п.ц.}$ цілком природно взяти їх дисперсії. Для оцінки величини дисперсії скористаємося виразом [7]:

$$\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 \quad (3)$$

де f – функції $D_{п.ц.}$ або $\alpha_{п.ц.}$; N – кількість аргументів; $\{x_i\}$ – множина аргументів.

Спочатку випишемо вирази для $\sigma_{D_{п.ц.}}^2$ із застосуванням формули (3) до співвідношення (1) та після відповідних перетворень отримаємо такий вираз:

$$\sigma_{\alpha_{п.ц.}}^2 = K_{з.в.} \cdot \sigma_{D_{к.ц.}}^2 + K_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц.}}^2 \quad (4)$$

де $K_{з.в.}$ – складова компоненти яка пов'язана з похибками вимірювання відстані; $K_{з.а.}$ – складова компоненти яка пов'язана з похибками вимірювання кутів, які виражаються такими співвідношеннями:

$$K_{з.в.} = \frac{(1 + \cos^2 \alpha_{к.ц.})(D_{к.ц.}^2 + D_{к.п.}^2) - 4D_{к.ц.}D_{к.п.} \cos \alpha_{к.ц.}}{D_{к.п.}^2 + D_{к.ц.}^2 - 2D_{к.ц.}D_{к.п.} \cos \alpha_{к.ц.}};$$

$$K_{з.а.} = \frac{D_{к.ц.}^2 + D_{к.п.}^2 \cos^2 \alpha_{к.ц.}}{D_{к.п.}^2 + D_{к.ц.}^2 - 2D_{к.ц.}D_{к.п.} \cos \alpha_{к.ц.}}.$$

Далі формулу (3) застосуємо до співвідношення (2) та отримуємо вираз для $\sigma_{\alpha_{п.ц.}}$:

$$\sigma_{\alpha_{п.ц.}}^2 = L_{з.в.} \cdot \sigma_{D_{к.ц.}}^2 + L_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц.}}^2 \quad (5)$$

де $L_{з.в.}$ – складова компоненти яка пов'язана з похибками вимірювання відстані; $L_{з.а.}$ – складова компоненти яка пов'язана з похибками вимірювання кутів, які характеризуються такими співвідношеннями:

$$L_{з.в.} = \frac{(D_{к.ц.}^2 + D_{к.п.}^2) \sin^2 \alpha_{к.ц.}}{(D_{к.п.}^2 + D_{к.ц.}^2 - 2D_{к.ц.}D_{к.п.} \cos \alpha_{к.ц.})^2};$$

$$L_{з.а.} = \frac{D_{к.ц.}^2 (D_{к.п.} \cos \alpha_{к.ц.} - D_{к.ц.})^2}{(D_{к.п.}^2 + D_{к.ц.}^2 - 2D_{к.ц.}D_{к.п.} \cos \alpha_{к.ц.})^2}.$$

Значення $\sigma_{D_{к.п.}} = \sigma_{D_{к.ц.}} = 10$ м є похибками лазерного далекоміру і відомі з його паспортних даних, а значення $\sigma_{\alpha_{к.ц.}} = 1^\circ$ відповідає припустимій похибці згідно із паспортними даними азимутального покажчика [8].

Аналіз похибок визначення величин $\sigma_{\alpha_{п.ц.}}$, $\sigma_{D_{п.ц.}}$ будемо проводити для найбільш характерних варіантів розташування об'єктів, що беруть участь у ЗЦВ. Розрахунки будемо проводити для найменших, найбільших, а також для деяких проміжних значень параметрів. Для зручності початкові дані до числових експериментів зібрано у табл. 1.

На рис. 2 наведено трьохвимірні графіки, які показують поведінку складових $\sqrt{K_{з.в.}} \cdot \sigma_{D_{к.п.}}$, $\sqrt{K_{з.а.}} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц.}}$ для відповідних сполучень параметрів.

Аналіз графічного матеріалу (рис. 2) дає можливість зазначити, що на похибку $\sigma_{D_{п.ц.}}^2$ головним чином

впливає складова $K_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц.}}^2$, яка власним пох-

дженням обумовлена похибками визначення кутових величин. У той самий час спостерігається значно менший вплив складової $K_{з.в.} \cdot \sigma_{D_{к.п.}}^2$ на визна-

чення загальної похибки $\sigma_{D_{п.ц.}}^2$, що дає можливість знехтувати нею. Крім того має місце поява критичної зони різкого зростання значення $\sigma_{D_{п.ц.}}$, яка залежить від взаємного розташування об'єктів ЗЦВ один відносно одного. Це відбувається в випадках при яких $D_{к.ц.}$ та $D_{к.п.}$ є близькими за величиною

та при значеннях кута $\alpha_{к.ц.}$ в околі нуля, що відповідає розташуванню підлеглої БМП між командир-

ською БМП та ціллю на одній лінії. При збільшенні відстані між командирською БМП та ціллю, зона критичного зростання похибки збільшується.

Бачимо, що розміри зони зростання похибки $\sigma_{Д_{п.ц}}$ (рис. 2) та її пересування залежать від взаємного розташування командирської та підлеглої БМП відносно цілі, що є значним недоліком даного способу.

На рис. 3 наведено трьохвимірні графіки, які

показують поведінку складових, $L_{з.в.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц}}$, $L_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц}}$, $\sigma_{\alpha_{п.ц}}$ для відповідних сполучень параметрів при використанні даних з табл. 1. Аналіз графічного матеріалу (рис. 3) показує, що при збільшенні відстані між командирською БМП та ціллю складова $L_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц}}$ залишається меншою за $L_{з.в.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц}}$, та навпаки стає більшою за неї на малих відстанях.

Таблиця 1

Початкові дані до числових експериментів

№ з/п	$D_{к.ц.}$, м	$D_{к.п.}$, м	$D_{п.ц.}$, м	$\alpha_{к.ц.}$, град	$\alpha_{п.ц.}$, град	$\sigma_{Д_{к.ц.}}$, м	$\sigma_{\alpha_{к.ц.}}$, град	$\sigma_{Д_{п.ц.}}$, м	$\sigma_{\alpha_{п.ц.}}$, град
1	100	50	61,95	30	126,21	10	1	12,53	8,47
	100	50	82,25	55	95,13	10	1	11,04	7,83
	100	50	99,55	75	75,98	10	1	10,35	6,30
2	500	50	476,97	60	114,79	10	1	12,05	1,51
	1000	50	975,95	60	117,46	10	1	12,16	1,15
	2000	50	1975,48	60	118,74	10	1	12,22	1,04
3	500	25	478,52	30	148,50	10	1	13,61	1,22
	1000	50	957,05	30	148,50	10	1	13,62	1,09
	2000	150	1871,60	30	147,70	10	1	13,66	1,08

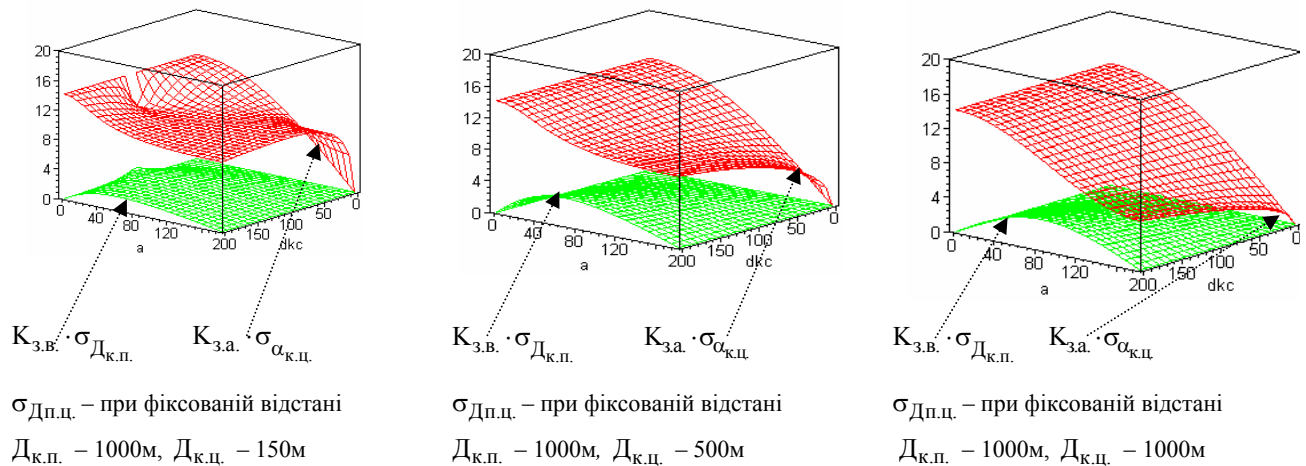


Рис. 2. Діаграма впливу складових $K_{з.в.} \cdot \sigma_{Д_{к.п.}}$ та $K_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц.}}$ на похибку $\sigma_{Д_{п.ц.}}$

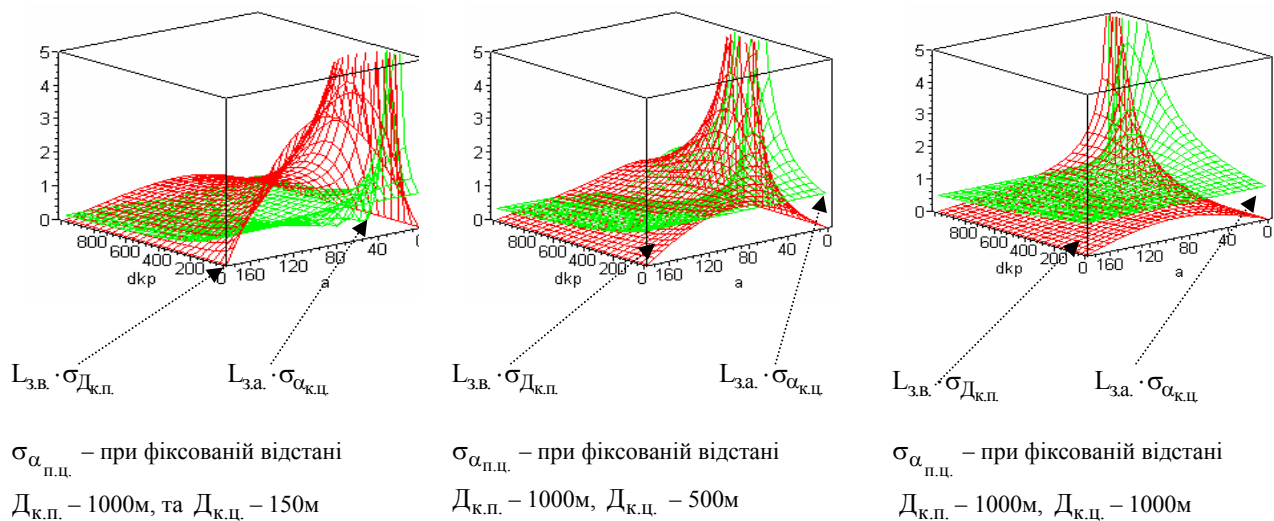


Рис. 3. Діаграма впливу складових $L_{з.в.} \cdot \sigma_{Д_{к.п.}}$ та $L_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц.}}$ на похибку $\sigma_{\alpha_{п.ц.}}$

Зони різкого зростання значення похибки $\sigma_{Д_{п.ц}}$ обумовлюють залежність взаємного розташування об'єктів ЗЦВ один відносно одного, та не дають змоги здійснення ЗЦВ при розташуванні підлеглої БМП між командирською БМП, та цілпо на одній лінії. Це унеможливує здійснення ЗЦВ в довільних умовах ведення бою, що обумовлює недоцільність використання даного способу в системі ЗЦВ.

Таким чином, проведений аналіз дає змогу оцінити вплив чинників на поведінку похибки, визначити несприятливі умови для здійснення ЗЦВ.

Також слід зазначити, що використовувати цей спосіб ЗЦВ можна тільки за умови прямого бачення підлеглої БМП і цілі в полі зору командирської БМП, що ускладнює використання під час ведення бойових дій в гірській місцевості та в міських умовах. Використання додаткового вимірювання відстані під час ЗЦВ обумовлює наявність обчислювальної апаратури для підвищення оперативності визначення вихідних даних. Несприятливим є використання лазерного далекоміру до підлеглої БМП під час вимірювання відстані $D_{к.п.}$ [8], що є значним недоліком.

Враховуючи значну величину похибки визначення $\alpha_{п.ц.}$, $D_{п.ц.}$ та наявність зон різкого їх зростання в залежності від взаємного розташування об'єктів, що беруть участь в ЗЦВ, можна стверджувати про недоцільність застосування способу цілевказування з додатковим вимірюванням відстані в системі ЗЦВ.

Висновки

1. В похибці визначення відстані $D_{п.ц.}$ домінує складова, яка власним походженням обумовлена похибками визначення кутових величин.

2. Залежність величини похибки $\sigma_{\alpha_{п.ц.}}$ від взаємного розташування БМП яки беруть участь у

ЗЦВ, обмежує можливості використання цього способу.

3. Враховуючи великі значення величин $K_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.п.}}$ та $L_{з.а.} \cdot \sigma_{\alpha_{к.ц.}}$, їх значний вплив на значення похибок $\sigma_{\alpha_{п.ц.}}$ та $\sigma_{Д_{п.ц.}}$ наявність зон їх зростання в залежності від розташування об'єктів ЗЦВ, можна стверджувати про недоцільність використання даного способу загальновійськовими підрозділами в системі ЗЦВ.

Список літератури

1. Аналіз тенденцій розвитку систем зовнішнього цілевказування в механізованих підрозділах провідних країн світу та підрозділах Збройних Сил України / В.Ф. Беляков, В.М. Корольов, К.В. Руденко, В.В. Мельников // Сучасні досягнення геодезії. – 2008. – № 2. – С. 31-71.
2. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей / В.А. Горбунов. – М.: Воениздат, 1980. – 160 с.
3. Головачёв Г.И. Влияние продолжительности обнаружения цели на боевую эффективность танка / Г.И. Головачёв // Вестник БТТ. – 1989. – № 9. – С. 3-5.
4. Корольов В.М. Оцінка точності вирішення третьої навігаційної задачі / В.М. Корольов // Наукові вісті НГТУ „КПІ”. – 2005. – № 4. – С. 115-117.
5. Корольов В.М. Обґрунтування точнісних вимог до визначення орієнтовних напрямків (ОН) координатним способом для наземних рухомих об'єктів (НРО) / В.М. Корольов // Геодез., картогр. та аерофотознім. – 2005. – № 2. – С. 17-19.
6. Количественные методы оценки эффективности бронетанковой техники: лекции по курсу. – М.: ВА БТВ, 1973. – 94 с.
7. Венцель Е.С. Курс теории вероятности / Е.С. Венцель. – М.: Физ-матгиз, 1962. – 465 с.
8. Романов Н.И. Теория стрельбы из танков / Н.И. Романов. – М.: ВА БТВ, 1973. – 424 с.

Надійшла до редколегії 14.04.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Савчук, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів..

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОШИБОК ВНЕШНЕГО ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

В.М. Корольов, К.В. Руденко, О.В. Корольова

В работе проведен анализ зависимости ошибки внешнего целеуказания с дополнительным измерением дальности от их составляющих. Определено влияние погрешностей по дальности и углу на точность внешнего целеуказания. Проведен всесторонний анализ целесообразности использования способа внешнего целеуказания с дополнительным измерением дальности в механизированных подразделениях.

Ключевые слова: внешнее целеуказание, оценка дисперсии, ошибка, повышение точности, воздействие составляющих ошибки.

THE ESTIMATION OF THE ERRORS OF THE EXTERNAL AIMING USING ADDITIONAL DISTANCE MEASURING

V.M. Korolov, K.V. Rudenko, O.V. Korolova

In the paper there is carried out the analysis of the dependence of the error of the external aiming using additional distance measuring on components. The influence of the distance, angle errors on precision the external aiming was determined. The detailed analysis of the rationality of using in the mechanized subunits was conducted.

Keywords: external aiming, estimation of dispersion, error, increase of exactness, influence of constituents of error.