

УДК 528.9

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ПОХИБОК ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ДО РУХОМОЇ ЦІЛІ З НЕРУХОМОГО ОБ'ЄКТА КООРДИНАТНИМ СПОСОБОМ

В. Корольов, К. Руденко, О. Корольова  
Львівський інститут Сухопутних військ Національного університету  
“Львівська політехніка”

**Ключові слова:** математична модель, напрямок, параметри цілі.

### Актуальність теми

Робота системи управління вогнем в бойових машинах піхоти залежить від багатьох факторів та складається з різних процесів. Одним із головних є процес зовнішнього цілевказування (ЗЦВ), який містить два етапи. На першому етапі [3] визначаються параметри цілі (координати курсовий кут – швидкість) з рухомої командирської бойової машини піхоти (БМП). Визначення параметрів цієї цілі (кута візування цілі та відстані до неї) з нерухомої підлеглої машини за інформацією про неї, що отримана з командирської машини, є другим етапом ЗЦВ. Точність визначення цих параметрів значною мірою впливає на ефективність застосування штатного озброєння БМП.

Оцінка точності визначенні параметрів цілі під час ЗЦВ потребує визначення складових похибок, оцінки їх впливу та виявлення домінуючих. Це дасть змогу оцінити точність характеристики системи зовнішнього цілевказування (СЗЦ), визначити доцільність її використання в системі управління вогнем. Це і зумовлює актуальність цього завдання.

### Аналіз літератури

Аналіз літератури показав, що у роботах [7–8] розглянуто підходи до оцінки впливу похибок, які супроводжують процес ЗЦВ, на роботу СЗЦ.

У роботі [7] розглянута оцінка похибок при визначенні параметрів нерухомої цілі з нерухомого об'єкта. Аналіз похибок при визначенні параметрів рухомої цілі виконано у [8], але машина також є нерухомою. Крім того, у вищеперерахованих роботах оцінка похибок здійснюється з використанням координатного способу ЗЦВ у полярних координатах.

### Постановка проблеми

Постає важливе завдання – оцінити точність визначення напрямку на рухому ціль з підлеглої машини під час роботи системи

зовнішнього цілевказування з використанням координатного способу за інформацією про неї, що надійшла з рухомої командирської БМП.

Автори поставили перед собою мету оцінити внесок кожної складової в похибку визначення параметрів цілі з підлеглої машини та виявити серед них ту, що впливає найбільше. Розглядається штатний варіант, коли підлегла машина нерухома, а ціль рухається.

### Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.

Оцінка точності визначення параметрів цілі дасть змогу:

- визначити доцільність використання цього способу ЗЦВ;
- сформулювати вимоги до точнісних характеристик СЗЦ та її структури;
- підвищити оперативність дій екіпажу БМП та можливість діяти в режимі, максимально наближеному до реального часу [6].

### Невирішені частини загальної проблеми

У роботі [3] розглянуто оцінку похибок визначення параметрів рухомої цілі з рухомої командирської машини з передаванням цієї інформації на підлеглу машину. Це є першим етапом ЗЦВ [3]. На другому етапі визначають напрямок на ціль з підлеглої машини.

Необхідно виконати оцінку похибок, які виникають при визначенні напрямку на ціль з підлеглої машини, якщо ціль рухома.

### Викладення основного матеріалу

Завершальним етапом ЗЦВ є забезпечення визначення напрямку на ціль з підлеглої БМП [2]. Сутність цього етапу ЗЦВ (див. рис. 1) полягає у знаходженні величин  $\beta(t)$  з підлеглої БМП.

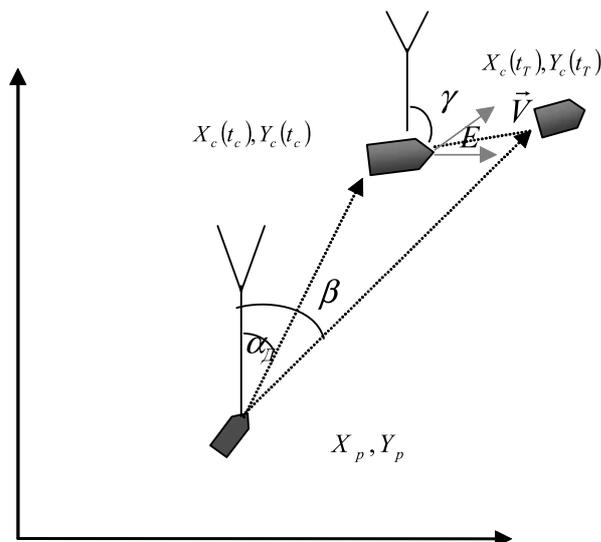


Рис. 1. Розташування рухомої цілі та підлеглої БМП під час визначення її параметрів

Прийнято, що модель руху цілі є лінійною. Застосувавши інформацію, отриману з командирської БМП про параметри цілі, маємо

$$\{X_c(t_c), Y_c(t_c), V_c(t_c), \chi(t_c), t_c\},$$

де  $t_c$  – момент визначення параметрів цілі;  $(X_c(t_c), Y_c(t_c))$  – координати рухомої цілі;  $V_c(t_c)$  – швидкість цілі;  $\chi(t_c)$  – курсовий кут цілі.

Час на передавання та отримання інформаційного вектора з командирської машини на підлеглу становить близько декількох мілісекунд, тому для нашої задачі ним можна знехтувати (дорівнює нулю). Витрати часу на допшук цілі  $t$  відповідно до вимог сучасного загальновійськового бою [4, 5] розглянемо в проміжку від 5 с до 15 с. Момент часу  $t_T$ , на якій цілі буде знайдено екіпажем підлеглої БМП, є  $t_T = t_c + t$ . Координати підлеглої машини  $X_p(t_T), Y_p(t_T)$  визначають за допомогою її системи навігації.

Напрямок на цілі  $\beta(t_T)$  визначається бортовою ЕОМ з такого співвідношення:

$$\beta(t_T) = \arctg \frac{Y_c + tV_c \sin \gamma - Y_p}{X_c + tV_c \cos \gamma - X_p}, \quad (1)$$

Для оцінки похибки визначення  $\beta(t_T)$  скористаємося тим самим підходом, що в [3]. Враховуючи, що визначення координат цілі та підлеглої машини здійснюється однотипними приладами, можна прийняти таке:

$$\max(\sigma_{x_p}^2, \sigma_{y_p}^2) \equiv \sigma_R^2, \max(\sigma_{x_c}^2, \sigma_{y_c}^2) \equiv \sigma_r^2.$$

Для скорочення викладок введемо такі позначення:

$$\begin{aligned} z_1 &\equiv (Y_c + tV_c \sin \gamma - Y_p); \\ z_2 &\equiv (X_c + tV_c \cos \gamma - X_p); \\ z_3 &\equiv (X_c + tV_c \cos \gamma - X_p)t \sin \gamma; \\ z_4 &\equiv (Y_c + tV_c \sin \gamma - Y_p)t \cos \gamma; \\ z_5 &\equiv (Y_c + tV_c \sin \gamma - Y_p)^2 + \\ &+ (X_c + tV_c \cos \gamma - X_p)^2. \end{aligned}$$

З урахуванням цього після відповідних перетворень отримуємо:

$$\sigma_\beta^2 = G_R \cdot \sigma_R^2 + G_r \sigma_r^2 + G_{V_c} \cdot \sigma_{V_c}^2 + G_{ang} \cdot \sigma_{ang_c}^2, \quad (2)$$

$$\text{де } G_R = \left( \frac{z_1 - z_2}{z_5} \right)^2; \quad G_r = \left( \frac{z_2 - z_1}{z_5} \right)^2;$$

$$G_{V_c} = \left( \frac{z_3 - z_4}{z_5} \right)^2; \quad G_{ang} = \left( \frac{z_3 + z_4}{z_5} \right)^2;$$

Зауважимо, що величини  $\sigma_{V_c} = 21\dot{i} / \ddot{n}$ ,  $\sigma_\gamma \equiv \sigma_{ang} = 6 - 8$  поділок кутoměра [3]. Величина  $\sigma_R = 20\dot{i}$  є тактико-технічною характеристикою системи навігації.

Бачимо, що величина  $\sigma_\beta^2$  складається з компонент, які зумовлені похибками визначення координат цілі та підлеглої машини, визначення швидкості цілі та кутових величин. А саме:

- $G_R \sigma_R^2$  – компонента, яка виникає при визначенні координат підлеглої машини;
- $G_r \sigma_r^2$  – компонента, яка виникає при визначенні координат рухомої цілі;
- $G_{V_c} \sigma_{V_c}^2$ , – компонента, яка пов'язана з похибками визначення швидкості цілі;
- $G_{ang} \sigma_{ang}^2$  – компонента, яка пов'язана з похибками визначення кута  $\gamma$ .

Математичне моделювання виконано для деяких проміжків значень параметрів для найхарактерніших варіантів розташування цілі та рухомого об'єкта.

На рис. 2, 3 наведено діаграми, які ілюструють поведінку складових у співвідношенні (2).

Виконаємо порівняльний аналіз впливу складових компонент на величину  $\sigma_\beta^2$ .

На рис. 2, 3 величина  $\sigma_\beta$  визначається у поділках кутoměра

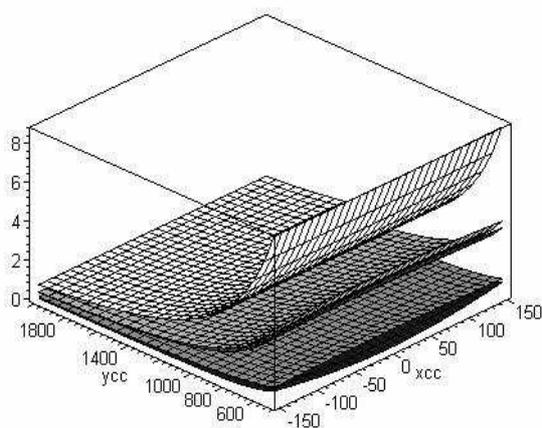
$\sigma_\beta$ 


Рис. 2. Поведінка складових похибки  $\sigma_\beta$  при швидкості цілі 10 м/с, за час пошуку цілі 10 с

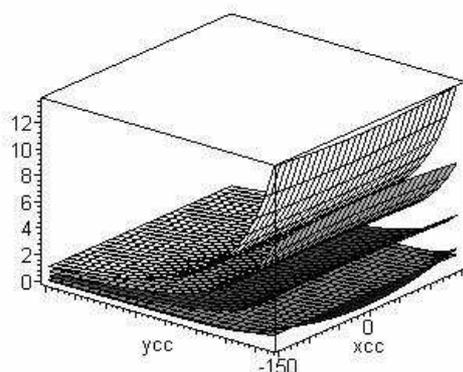
 $\sigma_\beta$ 


Рис. 3. Поведінка складових похибки  $\sigma_\beta$  при швидкості цілі 20 м/с, за час пошуку цілі 10 с

Аналіз розрахункового матеріалу дає можливість зазначити, що на формування величини  $\sigma_\beta^2$  домінуючий вплив мають складові  $G_R^2 \sigma_R^2$  та  $G_r^2 \sigma_r^2$ , які зумовлені похибками навігаційної системи.

Водночас вплив величин  $G_{V_c}^2 \sigma_{V_c}^2$ ,  $G_{ang}^2 \sigma_{ang}^2$  на формування  $\sigma_\beta^2$  є меншим на порядок, що дає змогу ними знехтувати.

Тоді матимемо:

$$\sigma_\beta = Q_f \cdot \sigma_\rho, \quad (5)$$

де  $Q_f = \sqrt{G_R + G_r}$ ;  $\sigma_\rho = \max(\sigma_R, \sigma_r)$ .

На рис. 4 зображено графік залежності  $\sigma_\beta = f(\sigma_\rho)$ .

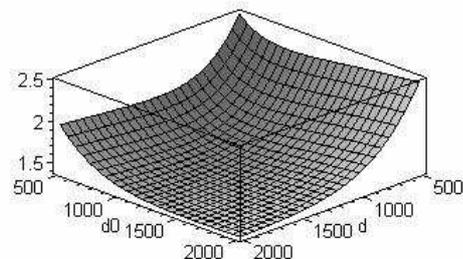


Рис. 4. Залежність величини  $\sigma_\beta$  від  $(\sigma_\rho)$

Бачимо, що за точності навігаційної системи близько 20 м, швидкості цілі до 20 м/с, визначенні курсового кута цілі з точністю  $\sigma_\gamma = 6-8$  поділок кутоміра, визначення кута  $\beta$  становить 10-12 поділок кутоміра, що, своєю чергою, забезпечить час пошуку цілі, не більший за 15 с [4].

Згідно з вимогами ведення сучасного вогневого бою час вогневого ураження цілі з моменту її виявлення не повинен перевищувати 25 с [2]. Отже, запропонований спосіб зовнішнього цілевказування з точнісними характеристиками  $\sigma_{V_c} = 21$  м/с,  $\sigma_\gamma \equiv \sigma_{ang} = 6-8$  поділок кутоміра,  $\sigma_R = 20$  м, доцільно використовувати в механізованих підрозділах при штатному використанні озброєння бойових машин піхоти. Надалі планується утворити математичну модель оцінки похибок визначення напрямку до рухомої цілі з нерухомої БМП з урахуванням висоти розташування об'єктів, що беруть участь в процесі ЗЦВ.

### Висновки

1. Запропоновано математичну модель оцінки похибок визначення напрямку на рухому цілі з підлеглої машини при ЗЦВ координатним способом з використанням інформаційного вектора, отриманого з командирської машини.

2. На утворення величини  $\sigma_\beta^2$  домінуючий вплив мають складові  $G_R^2 \sigma_R^2$  та  $G_r^2 \sigma_r^2$ , які зумовлені похибками навігаційної системи.

Водночас вплив величин  $G_{V_c}^2 \sigma_{V_c}^2$ ,  $G_{ang}^2 \sigma_{ang}^2$  на формування  $\sigma_\beta^2$  є меншим на порядок, що дає змогу ними знехтувати.

3. Отримано аналітичне співвідношення, яке дає змогу оцінити похибки величини кута, за відомої похибки визначення місцезнаходження об'єктів, що беруть участь в ЗЦВ.

4. При точності навігаційної системи близько 20 м, швидкості цілі 20 м/с, точності визначення курсового кута цілі 8–10 поділок кутоміра та координат цілі 21 м відповідно, величина  $\sigma_\beta$  визначається з точністю до 10–12 поділок кутоміра, що дає змогу використовувати цей спосіб у механізованих підрозділах під час управління вогнем бойових машин піхоти.

### Література

1. Беляков В.Ф., Корольов В.М., Руденко К.В., Мельников В.В. Аналіз тенденцій розвитку систем зовнішнього цілевказування в механізованих підрозділах провідних країн світу та підрозділах Збройних сил України // Сучасні досягнення геодезії. – 2008. – № 2. – С. 31–71.
2. Лекции по курсу “Количественные методы оценки эффективности бронетанковой техники”. – М.: ВА БТВ, 1973. – 94 с.
3. Корольов В.М., Руденко К.В., Корольова О.В.. Оцінка похибок визначення координат і вектора швидкості цілі з рухомого об'єкта // Вісник геодезії та картографії. – 2009. – № 2. – С. 31–71.
4. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей. – М.: Воениздат, 1980. – 160 с.
5. Суворов С.И. Системы управления огнем танков и БМП // Техника и вооружение. – 2004. – № 11. – С. 18–21.
6. Романов Н.И. Теория стрельбы из танков. – М.: ВА БТВ, 1973. – 424 с.
7. Корольов В.М. Оцінка точності вирішення третьої навігаційної задачі // Наукові вісті НГТУ “КПІ” – 2005. – № 4. – С. 115–117.

8. Корольов В. М. Обґрунтування точнісних вимог до визначення орієнтовних напрямків (ОН) координатним способом для наземних рухомих об'єктів (НРО) // Геодез., картогр. та аерофотознімання. – 2005. – № 2. – С. 17–19.

### Математична модель оцінки похибок визначення напрямку до рухомої цілі з нерухомого об'єкта координатним способом

В. Корольов, К. Руденко, О. Корольова

Запропонована математична модель оцінки похибок при визначенні параметрів цілі (кута візування цілі, та відстані до неї) з нерухомої підлеглої машини.

### Математическая модель оценки погрешностей определения направления к рухомой цели с неподвижного объекта координатным способом

В. Королев, К. Руденко, О. Королева

Предложена математическая модель оценки ошибок при определении параметров цели (угла визирования цели, дальности до нее) из неподвижной подчиненной машины координатным способом.

### Mathematical model suggested the error estimation of the determination of angel of the moving target from the movable object in coordinate method

V. Korolev, K. Rudenko, O. Korolova

There was suggested the mathematical model of the error estimation of the determination of parameters of the moving target (speed, angel of course, coordinates) from the movable object in coordinate method.

## КОНФЕРЕНЦІЯ INTEGEO

відбудеться

5–7 жовтня 2010 р., м. Кельн, Німеччина

Інформацію можна отримати за адресою

<http://www.isaust.org.ua//>