

Problematic aspects of the present system of engineering and technical control of the state border of Ukraine and perspective ways to increase its efficiency

M. Darmoroz

Based on the analysis of legal documents, methodological materials of the State Border Guard Service of Ukraine, scientific papers, evaluation of the factors that determine the results of the operational and service activity of bodies and units of the state border the role of engineering and technical component of the state border of Ukraine protection and the system of engineering and technical control of the state border of Ukraine and its problematic aspects have been estimated.

The results of attraction of international technical assistance projects (the United States Government and the European Union) for the State Border Guard Service of Ukraine, as well as intellectual attempts to resolve issues of application of engineering and technical control have been analyzed and the limits of the relevant researches have been assessed.

The structure and composition of the engineering and technological control system of the contemporary model of the state border of Ukraine protection have been presented.

The analysis of factors that determine the complexity of the system of engineering and technical control have been carried out, and one of the perspective ways to improve the system by combining different possibilities of the technical means of border protection, as the components of the system, have been defined.

The research has been performed on the basis of the system approach and the method of system analysis implementation.

Key words: *operational and service activity, engineering and technical control system, efficiency, technical means of border protection.*

УДК 765.528.9

В.М. Корольов, Я.Г. Заєць, Д.А. Кузмічов

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ВИСУВАННЯ БОЙОВОЇ МАШИНИ ІЗ ЗОНИ «ЗАТІНЕННЯ» В ЗОНУ ПРЯМОЇ ВИДИМОСТІ ЦІЛІ

В роботі розглянуто оцінку похибки визначення часу висунання бойової машини (вогневої одиниці) із зони «затінення» в зону прямої видимості цілі. Досліджено залежність цієї похибки від точності визначення геоінформаційною системою координат найближчого до бойової машини ланцюга межі зони «затінення», точності визначення координат бойової машини навігаційною системою та швидкості пересування бойової машини на полі бою.

Ключові слова: *цілерозподіл, цілевказування, зона прямої видимості, зона «затінення», похибка визначення координат, навігаційна система, геоінформаційна система.*

Вступ

Постановка проблеми. Процес розподілу виявлених цілей між бойовими машинами (вогневими одиницями) в механізованому (танковому) підрозділі залежить від багатьох чинників. Вогневі одиниці підрозділу розташовуються у бойовому порядку в залежності від конкретної ситуації та топографічної обстановки на полі бою. Той факт, що частина бойових машин підрозділу, придатних для цілерозподілу та цілевказування з урахуванням рельєфу місцевості, може знаходитися в зоні «затінення» до цілі, є не винятком, а закономірним явищем. Тому вирішальним чинником при пошуку таких машин є час їх висунання із зони «затінення» в зону прямої видимості цілі, який має задовольняти вимогам циклу бойового управління [1].

Отже, питання щодо визначення бойових машин, серед тих, які знаходяться в зоні «затінення», але спроможних за прийнятний час висунутися на лінію прямої видимості з ціллю, і тим самим збільшити кількість бойових машин, придатних для цілевказування, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У [2, 3] розглянуто спосіб визначення бойових машин, придатних для цілерозподілу, коли бойова машина за умовами рельєфу місцевості є «затіненою», та алгоритм оцінки часу виходу такої бойової машини із зони «затінення» на лінію прямої видимості до цілі. Однак, не оцінено похибку визначення часу висунання бойової машини із зони «затінення» в зону прямої видимості цілі. Це, в свою чергу, впливає на прийняття

рішення командиром механізованого (танкового) підрозділу щодо включення «затіненої» бойової машини в перелік тих, що придатні для цілевказування згідно з бюджетом часу, відведеного на цикл бойового управління [1].

Мета статті. Оцінити похибку визначення часу висування бойової машини із зони «затінення» в зону прямої видимості цілі.

Викладення основного матеріалу

Як відомо [3], відстань P від бойової машини до найближчого ланцюга на лінії прямої видимості з ціллю визначається із співвідношення

$$P = \frac{(y_{n+1} - y_n)}{Z} x_a + \frac{(x_n - x_{n+1})}{Z} y_a + \frac{y_n x_{n+1} - x_n y_{n+1}}{Z}, \quad (1)$$

де $Z = \sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2}$;

$x_n, y_n, x_{n+1}, y_{n+1}$ – координати найближчого до бойової машини ланцюга межі зони «затінення»;

x_a, y_a – координати бойової машини.

Координати бойової машини надходять із навігаційної системи [4], координати найближчого до бойової машини ланцюга межі зони «затінення» отримуємо із геоінформаційної системи [2, 5].

Відомо [3], що $\tau_{вих}$ – час виходу бойової машини на лінію прямої видимості з ціллю визначається із співвідношення

$$\tau_{вих} = \frac{P}{V_a}, \quad (2)$$

де V_a – середня швидкість пересування бойової машини на полі бою.

Зауважимо, що усі вказані величини ($x_n, y_n, x_{n+1}, y_{n+1}, x_a, y_a$) при їх визначенні будуть мати у своєму складі випадкові похибки. Тому функцію $\tau_{вих}$ можемо розглядати як функцію багатьох випадкових аргументів. Для оцінки похибки її визначення цілком природно взяти її дисперсію. Для цього скористаємось виразом [6]:

$$\sigma_{\tau_{вих}}^2 = \frac{1}{V_a^2} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial \tau_{вих}}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2, \quad (3)$$

де N – число аргументів функції (2);

i – номер аргументу;

x_i – незалежні змінні ($x_a, y_a, x_n, y_n, x_{n+1}, y_{n+1}$)

Застосовуючи (3) до (2), після відповідних перетворень, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial x_n} &= K \left[(x_a - x_{n+1})(x_{n+1} - x_n)(y_{n+1} - y_n) + (y_a - y_{n+1})(y_{n+1} - y_n)^2 \right] \\ \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial x_{n+1}} &= K \left[(x_n - x_a)(x_{n+1} - x_n)(y_{n+1} - y_n) + (y_n - y_a)(y_{n+1} - y_n)^2 \right] \\ \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial y_n} &= K \left[(x_{n+1} - x_a)(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_a)(x_{n+1} - x_n)(y_{n+1} - y_n) \right] \\ \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial y_{n+1}} &= K \left[(x_a - x_n)(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_a - y_n)(x_{n+1} - x_n)(y_{n+1} - y_n) \right] \\ \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial x_a} &= K(y_{n+1} - y_n), \\ \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial y_a} &= K(x_{n+1} - x_n), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{де } K = \frac{1}{Z} \frac{1}{\sqrt{Z} V_a}.$$

Враховуючи, що

$$\sigma_{y_{n+1}}^2 = \sigma_{y_n}^2 \equiv \sigma_y^2,$$

$$\sigma_{x_{n+1}}^2 = \sigma_{x_n}^2 \equiv \sigma_x^2,$$

$$\sigma_{y_a}^2 = \sigma_{x_a}^2 \equiv \sigma_{\rho_a}^2$$

та беручи до уваги, що координати $x_n, y_n, x_{n+1}, y_{n+1}, x_a, y_a$ в плані наявності випадкових похибок є рівноправними, можна прийняти $\sigma_{\rho}^2 \equiv \max(\sigma_y^2, \sigma_x^2)$, $\sigma_{\rho_a}^2 \equiv \max(\sigma_{y_a}^2, \sigma_{x_a}^2)$.

Тоді матимемо наступне

$$\sigma_{\tau_{вих}}^2 = \frac{1}{V_a^2} W \sigma_{\rho}^2 + \frac{1}{V_a^2} Q \sigma_{\rho_a}^2, \quad (5)$$

$$\text{де } W = \left(\frac{\partial \tau_{вих}}{\partial x_n} + \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial x_{n+1}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \tau_{вих}}{\partial y_n} + \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial y_{n+1}} \right)^2;$$

$$Q = \left(\frac{\partial \tau_{вих}}{\partial x_a} + \frac{\partial \tau_{вих}}{\partial y_a} \right)^2.$$

Як видно, величина $\sigma_{\tau_{вих}}^2$ складається з двох доданків. Для визначення внеску кожного із них на її формування було використано пакет прикладних програм в середовищі Maple.

Математичне моделювання поведінки доданків (5) було проведено для найбільш типових варіантів розташування бойової машини до найближчого ланцюга межі зони «затінення».

На рис. 1–4 представлено діаграми поведінки складових (5), що впливають на формування $\sigma_{\tau_{вих}}^2$, яка залежить від:

- V_a – швидкості пересування бойової машини на полі бою;

- σ_{ρ} – точності визначення геоінформаційною системою координат найближчого до бойової машини ланцюга межі зони «затінення»;

- σ_{ρ_a} – точності визначення координат бойової машини навігаційною системою.

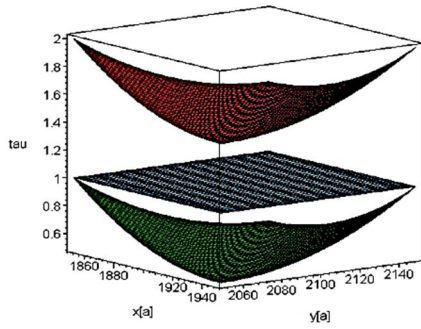


Рис. 1. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}^2$ та доданків (5) від x_a, y_a

при $\sigma_{\rho} = 10$ м, $\sigma_{\rho_a} = 10$ м, $V_a = 10$ м/с

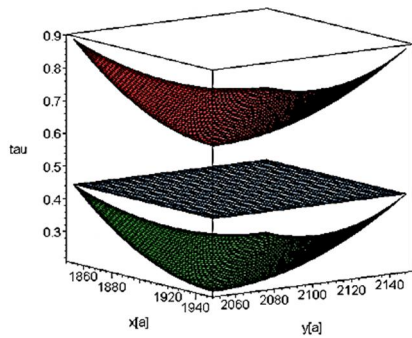


Рис. 2. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}^2$ та доданків (5) від x_a, y_a

при $\sigma_{\rho} = 10$ м, $\sigma_{\rho_a} = 10$ м, $V_a = 15$ м/с

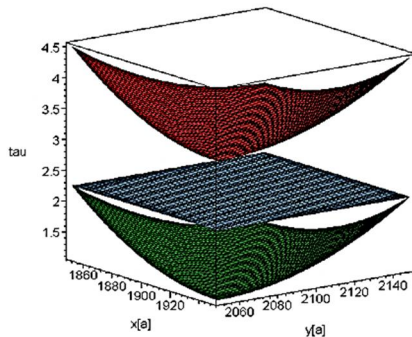


Рис. 3. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}^2$ та доданків (5) від x_a, y_a

при $\sigma_{\rho} = 15$ м, $\sigma_{\rho_a} = 15$ м, $V_a = 10$ м/с

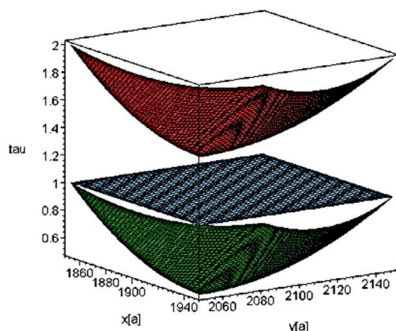


Рис. 4. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}^2$ та доданків (5) від x_a, y_a

при $\sigma_{\rho} = 15$ м, $\sigma_{\rho_a} = 15$ м, $V_a = 15$ м/с

Аналіз результатів математичного моделювання показує, що величини $\frac{1}{V_a^2} W \sigma_{\rho}^2$ і $\frac{1}{V_a^2} Q \sigma_{\rho_a}^2$ є співвимірними щодо внеску в загальну величину $\sigma_{\tau_{вих}}^2$.

На рис. 5–8 представлені графіки залежності $\sigma_{\tau_{вих}}$ від V_a для різних комбінацій значень σ_{ρ} та σ_{ρ_a} .

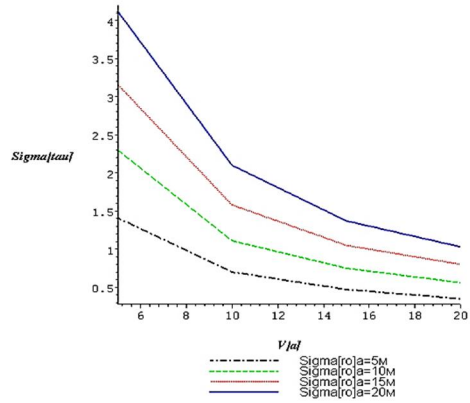


Рис. 5. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}$ від значення V_a та σ_{ρ_a}

при $\sigma_{\rho} = 5$ м

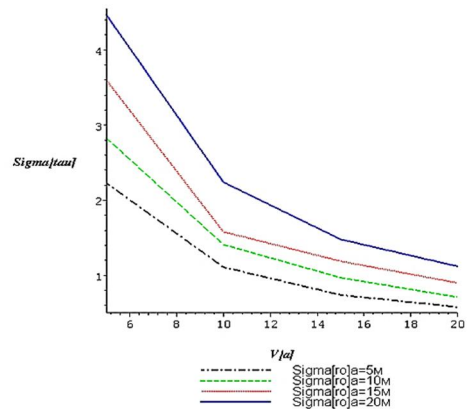


Рис. 6. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}$ від значення V_a та σ_{ρ_a}

при $\sigma_{\rho} = 10$ м

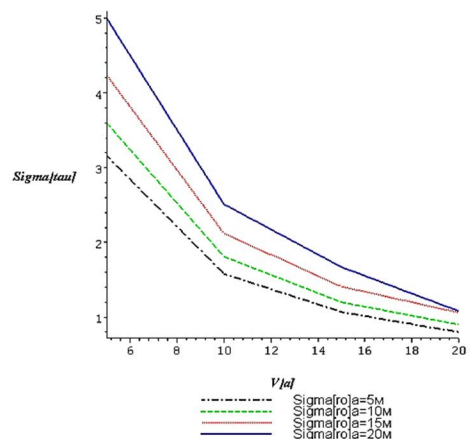


Рис. 7. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}$ від значення V_a та σ_{ρ_a}

при $\sigma_{\rho} = 15$ м.

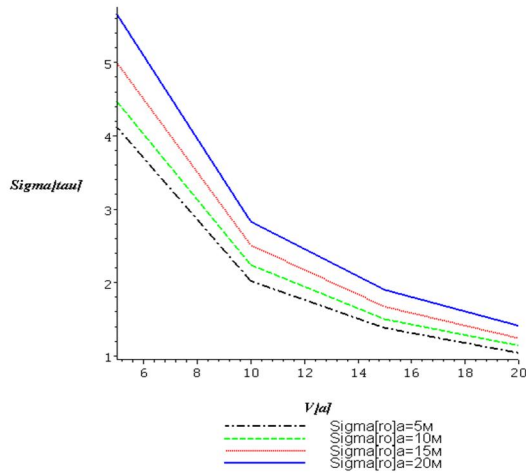


Рис. 8. Залежність $\sigma_{\tau_{вих}}$ від значення V_a та σ_{ρ_a} при $\sigma_{\rho} = 20$ м

Аналізуючи матеріал, представлений на рисунках 5–8, можна стверджувати, що величина похибки $\sigma_{\tau_{вих}}$ визначення часу висування бойової машини із зони «затіннення» в зону прямої видимості цілі зменшується при збільшенні V_a та збільшується при збільшенні σ_{ρ} і σ_{ρ_a} .

Бачимо, що найменше значення $\sigma_{\tau_{вих}}$ досягається при швидкості бойової машини близько 20 м/с та при кругових похибках навігаційної та геоінформаційної систем близько 5 м.

На жаль, швидкість бойової машини близько 20 м/с на полі бою не може бути забезпечена, а встановлення на озброєнні та військовій техніці навігаційної та геоінформаційної систем з точністю близько 5 м призведе до не виправдано високої їх вартості.

Точність навігаційної та геоінформаційної систем, яку реально досягти у військах на сучасному етапі, складає величину близько 10–15 м.

Отже, величина $\tau_{вих}$ часу висування бойової машини із зони «затіннення» в зону прямої видимості цілі в загальному проміжку часу, відведеному для цілерозподілу, згідно з типовою циклограмою підготовки стрільби з танка як з місця, так і з ходу, повинна знаходитись в межах $1,8 \leq \sigma_{\tau_{вих}} \leq 2,2$ с. Що, в свою чергу, можливо досягти за умов, коли швидкість бойової машини буде $5 \leq V_a \leq 10$ м/с, а величини похибок визначення координат межі зони «затіннення» та координат бойової машини відповідно геоінформаційною та навігаційною системами буде знаходитись в межах $10 \leq \sigma_{\rho_z} \leq 15$ м.

Таким чином, співвідношення (5) дозволяє оцінити похибку визначення часу висування бойової машини із зони «затіннення» в зону прямої видимості цілі при заданих σ_{ρ} та σ_{ρ_a} .

При відомих величинах $\tau_{вих}$ та σ_{ρ} , за співвідношенням

$$\sigma_{\rho_a} = \sqrt{\frac{V_a^2 \sigma_{\tau_{вих}}^2 - W \sigma_{\rho}^2}{Q}} \quad (6)$$

можна оцінити вимоги, які висуваються до точності навігаційної системи бойової машини.

Якщо задано величини $\tau_{вих}$ та σ_{ρ_a} , то за співвідношенням

$$\sigma_{\rho} = \sqrt{\frac{V_a^2 \sigma_{\tau_{вих}}^2 - Q \sigma_{\rho_a}^2}{W}} \quad (7)$$

можна оцінити вимоги, які висуваються до точності визначення координат об'єктів геоінформаційною системою.

В подальшому планується розглянути питання щодо експериментального підтвердження теоретичних оцінок точності визначення часу висування бойової машини із зони «затіннення».

Висновки

1. Запропоновано математичну модель оцінки похибки визначення часу висування бойової машини із зони «затіннення» в зону прямої видимості цілі.

2. Показано, що похибки σ_{ρ} визначення координат найближчого до бойової машини ланцюга межі зони «затіннення» геоінформаційною системою та похибки σ_{ρ_a} визначення координат бойової машини навігаційною системою є співвимірними щодо внеску в загальну величину похибки $\sigma_{\tau_{вих}}$ при визначенні часу висування бойової машини із зони «затіннення» в зону прямої видимості цілі.

3. Отримано аналітичне співвідношення, що дозволяє висунути вимоги до величин похибок визначення координат найближчого до бойової машини ланцюга межі зони «затіннення» геоінформаційною системою та координат бойової машини навігаційною системою, за заданими вимогами до величини похибки $\sigma_{\tau_{вих}}^2$ визначення часу висування бойової машини із зони «затіннення» в зону прямої видимості цілі.

4. Показано, що при $\sigma_{\rho} \cong 15$ м, та при $\sigma_{\rho_a} \cong 15$ м, які відповідають реальним технічним можливостям типових геоінформаційної та навігаційної

систем щодо величини похибки визначення координат межі зони «затінення» та величини похибки визначення координат бойової машини відповідно, похибка визначення часу висування бойової машини із зони «затінення» в зону прямої видимості цілі $\tau_{вих}$ складає величину близько 2 секунд.

Список літератури

1. Корольов В.М., Заєць Я.Г. Роль і місце системи цілерозподілу для механізованих (танкових) підрозділів в АСУ тактичної ланки / В.М. Корольов, Я.Г. Заєць // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2014. – Вип. 1 (52). – К.; ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2014. – Вип. 1 (52) – С. 39–47.

2. Корольов В.М., Заєць Я.Г., Хома В.В. Спосіб визначення бойових машин із зони «затінення», додатних для цілерозподілу / В.М. Корольов, Я.Г. Заєць, В.В. Хома // Труды Університету. № 5(126). – К.: 2014. – С. 111–116.

3. Корольов В.М., Заєць Я.Г., Щавінський Ю.В. Спосіб обчислення часу висування бойової машини із зони

«затінення» в зону прямої видимості цілі / В.М. Корольов, Я.Г. Заєць, Ю.В. Щавінський // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2014. – № 4 (40). – С. 41–44.

4. Корольов В.М., Заєць Я.Г. та ін. Аналіз світових тенденцій розвитку систем навігації для сухопутних військ / В.М. Корольов, Я.Г. Заєць // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ. – Л.: АСВ, 2011. – Вип. 1(4). – С. 19–29.

5. Корольов В.М., Заєць Я.Г. Система визначення найбільш придатного вогневого засобу в механізованому (танковому) підрозділі для вирішення вогневого завдання / В.М. Корольов, Я.Г. Заєць // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ. – Л.: АСВ, 2015. – Вип. 12 т. – С. 58–62.

6. Венцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Б.І. Сокіл, завідувач кафедри інженерної механіки Національної академії сухопутних військ, Львів.

Математическая модель оценки погрешности определения времени выдвижения боевой машины из зоны «затенения» в зону прямой видимости цели

В.Н. Королёв, Я.Г. Заец, Д.А. Кузмичёв

В работе рассмотрено оценку погрешности определения времени выдвижения боевой машины (огневой единицы) из зоны «затенения» в зону прямой видимости цели. Исследована зависимость этой погрешности от точности определения геоинформационной системой координат ближайшей цепи границы зоны «затенения», точности определения координат боевой машины навигационной системой и скорости передвижения машины на поле боя.

Ключевые слова: целераспределение, целеуказание, зона прямой видимости, зона «затенения», ошибка определения координат, навигационная система, геоинформационная система.

The mathematical model evaluation error determine the extension time of the combat vehicle from the zone of «shade» in the line of sight of the goal

V. Koroliiov, J. Zaiets, D. Kuzmichev

In the considered assessment of the timing error for the nomination battle machines (firepower units) from the zone of «shading» in the zone of direct visibility goal. The dependence of this bias from the accuracy of the geographic information system of coordinates of the nearest chain border zone «shading», positioning accuracy vehicle navigation system and speed the movement of machine on the battlefield. The mathematical model of evaluation of error determine the time of the nomination battle machines from the zone «shading» in the zone of direct visibility goal. Mathematical modelling was conducted using the application package in Wednesday for the most common Maple arrangements combat vehicle to the nearest chain border zone «shading». It is shown that positioning error nearest to battle machine chain border zone «shading» geoinformation system and positioning errors of combat vehicle navigation system commensurate with the contribution to the total amount of error in determining the time of the nomination battle machines from the zone «shading» in the zone of direct visibility goal. The magnitude of the error in determining the extension time of the combat vehicle from the zone of «shade» in the line of sight of the goal decreases with increase in the speed of movement of the combat vehicle, and is increased by increasing the error of determining the coordinates of the nearest combat car circuit border zone «shading» and the error of determination of coordinates of a combat vehicle. The obtained analytical relation that allows to make demands to the magnitude of the measurement errors of the coordinates closest to the military machine of the circuit of the border zone, «shading» geoinformational system and coordinates combat vehicle navigation system according to the specified requirements for the size of the error in determining the extension time of the combat vehicle from the zone of «shade» in the line of sight of the target.

Key words: target distribution, targeting, line of sight, area «shading», the error of determining the coordinates, navigation system, geoinformation system.