

УДК 624.31

В.П. Деденок, О.С. Петренко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТУ УРАЖЕННЯ В СИСТЕМІ КООРДИНАТ ВОГНЕВОГО ЗАСОБУ ЗА ДАНИМИ ЦІЛЕВКАЗАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЄЮ ВІД СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Запропоновано метод отримання координат об'єкту ураження безпосередньо в системі координат вогневого засобу за даними цілевказання, що дозволяє компенсувати погрішності топогеодезичної прив'язки стартової (вогневої) позиції вогневого засобу.

Ключові слова: супутникові радіонавігаційні системи, високоточна зброя, система координат, цілевказання, вогневий засіб, об'єкт ураження.

Вступ

Постановка проблеми. В останні роки вигляд військових дій серйозно змінився. На зміну великомасштабним операціям за участю усіх родів військ прийшли бойові дії в міських умовах або проти ворога, що вважає за краще засадну тактику. Все це впливає на існуючий облік збройних сил провідних держав світу та основні питання тактики і стратегії. В одно з найбільш складних положень в сучасних умовах попала артилерія. Найбільшу бойову ефективність артилерійські системи демонструють при атаці площадних цілей в умовах загальновійськового бою. Однак в теперішній час в умовах сучасної війни крім дальності стрільби і потужності снарядів особливе значення набуває точність стрільби.

Спосіб [1] стрільби артилерійськими снарядами з закритих вогневих позицій включає: визначення топографічної дальності до цілі, дирекційного кута напряму на ціль і перевищення цілі над вогневою позицією; замір метеорологічних умов стрільби; розрахунок поправок в дальність; розрахунок установок стрільби за допомогою таблиць стрільби; орієнтування знаряддя; реалізацію установок; здійснення пострілу.

Повна підготовка є основним способом визначення установок для стрільби артилерійськими снарядами. Однак в ряді випадків її застосування неможливо по причині неповного обсягу та недостатньої точності вихідних даних.

Тоді, згідно [1], установки для стрільби визначаються способами скороченої або помірної підготовки. При цьому збільшення погрішностей досягає 3 – 4 разів, що збільшує розхід боєприпасів і час виконання вогневої задачі. Основний вклад в збільшення погрішностей стрільби вносять погрішності визначення місцеположення вогневих засобів.

В зв'язку з цим актуальною є розробка методів зменшення помилок стрільби, пов'язаних з погрішностями топогеодезичної прив'язки вогневих засо-

бів, тобто помилок у визначенні координат об'єкту ураження відносно стартової (вогневої) позиції.

Аналіз основних публікацій. Для реалізації потреб в високоточному координатно-часовому забезпеченні розроблені, створені і введені в експлуатацію СРНС ГЛОНАСС (Росія), GPS (США) та розроблюються аналогічні системи Galileo (Європейський союз) та Compass (Китай).

Питанням високоточної зброї, сучасних артилерійських снарядів, крилатих ракет, що обладнані апаратурою супутникових радіонавігаційних систем у літературі приділено достатньо багато уваги [2 – 4].

В [5] пропонується в якості створення джерела координатно-часової інформації для здійснення загоризонтних пусків зенітних керованих ракет використання апаратури і сигналів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС).

Для використання GPS при вирішенні задач цілевказання і застосування озброєння передбачено низку прийомів, що дозволяють підвищити стабільність і точність вирішення наступних задач: "заморожування" сузір'я навігаційних супутників (НС), що використовується, штучне відсіювання деяких НС, "стабілізація" іоносферних поправок на час використання GPS в системі цілевказання (GPS Aided Targeting System, GATS) [6].

Проблеми пов'язані з основною точністю GPS поступово вирішуються шляхом введення широкодіапазонних методів GPS (Wide Area Differential GPS) при яких корекційні сигнали для даного географічного положення транслюються на приймач GPS по радіоканалу. Найбільш точні технології подібного роду здатні виправити помилки GPS до декількох дюймів в трьох вимірах і є достатньо точними, щоб потрапити ракетою в люк бронемашини [7].

Традиційні засоби навігації балістичних ракет дозволяли добитися точності в декілька десятків метрів, чого було недостатньо для поразення сильно захищених цілей, наприклад шахтних пускових

установок. За допомогою апаратури GPS кругове імовірне відхилення (КІВ) боєголовки можливо знизити до 10 – 20 метрів [8].

В тих випадках, коли необхідно уточнити вектор стану об'єкту в деякому пункті, може бути використаний інверсний метод диференціальної супутникової навігації [9]. При цьому з апаратури користувачів (АК) СРНС об'єкту, місцеположення якого уточняється транслюють або результати первинних вимірювань, або поточні координати, доповнені інформацією про склад робочого сузір'я, по якому вони обчислені. В пункті управління отримані данні корегують з використанням інформації від контрольно-коректуючої станції (ККС), яка може розташовуватись в самому пункті управління.

Однак це пов'язано з додатковим обладнанням та каналом зв'язку, який при використанні в військових цілях має бути захищеним від перешкод та мати криптографічний захист.

Метою статті є розробка методу отримання координат об'єкту ураження безпосередньо в системі координат вогневого засобу за даними цілевказання, що дозволяє компенсувати погрішності топогеодезичної прив'язки стартової (вогневої) позиції вогневого засобу без використання інформації мереж ККС та додаткових каналів зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Перерахунок координат цілі $V_{ц}$ з зовнішньої системи координат (цілевказання) в місцеву $V_{цм}$ можливо записати за допомогою перетворення Гельмерта [10]

$$V_{цм} = A^{M \leftarrow B} \cdot V_{ц} + R_{см} + \delta_{пр}, \quad (1)$$

де $A^{M \leftarrow B}$ - матриця направляючих косинусів, елементи якої визначаються по відомим кутам повороту системи координат навколо будь-якої осі; $R_{см}$ - вектор зсуву начала координат місцевої системи відносно зовнішньої; $\delta_{пр}$ - вектор помилки топогеодезичної прив'язки.

Погрішності топогеодезичної прив'язки можуть бути охарактеризовані кореляційною матрицею $K_{пр}$. Прийнято припущення про те, що середньоквадратична похибка (СКП) топогеодезичної прив'язки однакова за всіма координатами і дорівнює $\sigma_{пр}$. Отже, кореляційна матриця помилок визначення координат цілі в цьому випадку може бути представлена як:

$$K_{ц} = I \cdot \sigma_{пр}^2, \quad (2)$$

де I – одинична матриця.

Отже, погрішності топогеодезичної прив'язки стартової позиції будуть додатково збільшувати сумарну погрішність визначення координат цілі в системі координат стартової позиції.

Припустимо, що вогневий засіб оснащений приймачем СРНС, а в точці знаходження цілі (об'єкту ураження) також є уявний приймач. Таким чином, відомі координати стартової позиції в місцевій системі координат, координати об'єкта ураження в зовнішній системі координат, ефемериди навігаційних супутників (НС) робочого сузір'я, вимірювані псевдодальності (ПД) до супутників зі стартової позиції \hat{D}_{ci} та розраховані значення ПД від об'єкту ураження $\hat{D}_{ци}$ до тих же супутників. Схематично це представлено на рис. 1.

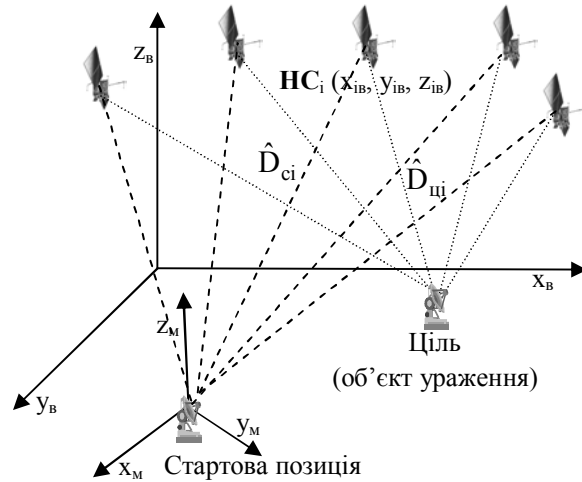


Рис. 1. Схема топогеодезичної прив'язки

Пропонується наступний методичний підхід для отримання координат об'єкту ураження в системі координат вогневого засобу (стартової позиції).

Вимірювання ПД приймачем на стартовій позиції та уявним приймачем в точці стояння цілі здійснюються в співпадаючі моменти часу. На моменти вимірювань ПД з точки стояння цілі $\hat{D}_{ци}$ і стартової позиції \hat{D}_{ci} ефемериди кожного з НС перераховуються в місцеву систему координат (з урахуванням погрішностей її топогеодезичної прив'язки) з зовнішньої системи координат так, що для i -го НС:

$$\hat{v}_{eiM} = A^{M \leftarrow B} \cdot \hat{v}_{ei} + R_{см} + \delta_{пр}. \quad (3)$$

Для кожного НС визначається орт (\hat{e}_i) в напрямку на i -й НС з початку місцевої системи координат

$$\hat{e}_i = \frac{\hat{v}_{eiM}}{|\hat{v}_{eiM}|}. \quad (4)$$

Далі здійснюється операція "модифікації" перерахованих в місцеву систему координат ефемерид навігаційних супутників з урахуванням дальностей, що виміряні приймачем на стартовій позиції до відповідних НС.

$$\hat{v}_{eiM} = \hat{D}_{ci} \cdot \hat{e}_i. \quad (5)$$

Після чого вирішується традиційна задача отримання вектору положення цілі в місцевій сис-

темі координат $\mathbf{V}_{\text{цм}}$ з використанням "модифікованих" ефемерид. Схематично рішення навігаційної задачі таким методом представлено на рис. 2.

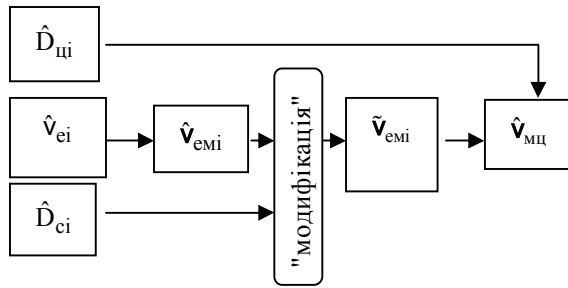


Рис. 2. Схеми рішення навігаційної задачі

Вираз для результуючої помилки в визначенні місцеположення цілі при такому варіанті розв'язання навігаційної задачі має вигляд:

$$\Delta \hat{\mathbf{V}}_{\text{цм}} = (\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{B}^{-1}) \cdot \mathbf{B}^T \cdot (\Delta \mathbf{D}_{\text{ц}} - \mathbf{G} \times [\mathbf{D} \cdot \Delta \mathbf{D}_{\text{с}} + \mathbf{P} \cdot (\tilde{\mathbf{A}}^{\text{M} \leftarrow \text{B}} \Delta \hat{\mathbf{V}}_{\text{с}} + \boldsymbol{\delta}_{\text{пр}})] \quad (7)$$

де
$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \frac{\partial D_{\text{ц1}}}{\partial \mathbf{V}_{\text{мц}}} \\ \dots \\ \frac{\partial D_{\text{цj}}}{\partial \mathbf{V}_{\text{мц}}} \\ \dots \\ \frac{\partial D_{\text{цN}}}{\partial \mathbf{V}_{\text{мц}}} \end{pmatrix},$$

\mathbf{P} – блочно-діагональна матриця розмірності $((N \times 3) \times (N \times 3))$ з блоками вигляду

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial \tilde{x}_{\text{eim}}}{\partial x_{\text{eim}}} & \frac{\partial \tilde{x}_{\text{eim}}}{\partial y_{\text{eim}}} & \frac{\partial \tilde{x}_{\text{eim}}}{\partial z_{\text{eim}}} \\ \frac{\partial \tilde{y}_{\text{eim}}}{\partial x_{\text{eim}}} & \frac{\partial \tilde{y}_{\text{eim}}}{\partial y_{\text{eim}}} & \frac{\partial \tilde{y}_{\text{eim}}}{\partial z_{\text{eim}}} \\ \frac{\partial \tilde{z}_{\text{eim}}}{\partial x_{\text{eim}}} & \frac{\partial \tilde{z}_{\text{eim}}}{\partial y_{\text{eim}}} & \frac{\partial \tilde{z}_{\text{eim}}}{\partial z_{\text{eim}}} \end{pmatrix},$$

\mathbf{G} – блочно-діагональна матриця розмірності $(N \times (N \times 3))$ частинних похідних, тобто відповідних ортів з точки стояння цілі в напрямку на i -й НС з блоками вигляду

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial D_{\text{цi}}}{\partial x_{\text{ei}}} & \frac{\partial D_{\text{цi}}}{\partial y_{\text{ei}}} & \frac{\partial D_{\text{цi}}}{\partial z_{\text{ei}}} \end{pmatrix},$$

\mathbf{D} – блочно-діагональна матриця розмірності

$((N \times 3) \times N)$ з блоками виду
$$\begin{pmatrix} \frac{\partial \tilde{x}_{\text{eim}}}{\partial D_{\text{ci}}} \\ \frac{\partial \tilde{y}_{\text{eim}}}{\partial D_{\text{ci}}} \\ \frac{\partial \tilde{z}_{\text{eim}}}{\partial D_{\text{ci}}} \end{pmatrix}, \tilde{\mathbf{A}}^{\text{M} \leftarrow \text{B}} \text{ – бло-$$

чно-діагональна матриця, на головній діагоналі у якої стоять матриці $\mathbf{A}^{\text{M} \leftarrow \text{B}}$, $\boldsymbol{\delta}_{\text{пр}}$ – блочний вектор з N однакових блоків виду $\boldsymbol{\delta}_{\text{пр}}$.

В припущенні про те, що ефемеридні погрішності і погрішності вимірювання ПД приймачами на стартовій позиції та в точці стояння цілі некорельовані, самі погрішності вимірювання ПД приймачами на стартовій позиції та в точці стояння цілі некорельовані між собою, усі N каналів приймачів ідентичні за своїми технічними характеристиками, ефемеридні погрішності по всім трьом координатам мають однакову дисперсію $\sigma_{\text{с}}^2$ та СКП топогеодезичної прив'язки однакова за всіма координатами і дорівнює $\sigma_{\text{пр}}$, вираз для кореляційної матриці погрішностей визначення координат цілі в цьому випадку має вигляд:

$$\mathbf{K}_{\text{п}} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{V}^T \cdot \sigma_{\text{D}_{\text{ц}}}^2 + \boldsymbol{\Xi} \cdot \boldsymbol{\Xi}^T \cdot \sigma_{\text{D}_{\text{с}}}^2 + \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{\Gamma}^T \cdot \sigma_{\text{е}}^2 + \mathbf{U} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \sigma_{\text{пр}}^2, \quad (8)$$

де $\mathbf{V} = (\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{B}^{-1}) \cdot \mathbf{B}^T$, $\boldsymbol{\Xi} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{G} \cdot \mathbf{D}$, $\mathbf{U} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{P}$,

$$\mathbf{\Gamma} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{G} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}^{\text{M} \leftarrow \text{B}}.$$

Таким чином, отримані розрахункові формули для оцінок результуючих погрішностей в визначенні місцеположення цілі і кореляційних матриць погрішностей визначення координат цілі – співвідношення (2), (7) відповідно.

Для отримання кількісних оцінок придатності запропонованого варіанту отримання координат цілі в системі координат вогневого засобу проведені аналітичні розрахунки. При цьому були прийняті наступні вихідні данні: $\sigma_{\text{е}} = 3$ м [11], $\sigma_{\text{D}_{\text{ц}}} = 2$ м, $\sigma_{\text{D}_{\text{с}}} = 1,5$ м, що відповідає можливому класу існуючої апаратури користувачів СРНС.

Узагальненою мірою точності прийняті корінь квадратний з сліду кореляційної матриці помилок $\Theta = \sqrt{\text{Sp}(\mathbf{K}_{\text{п}})}$.

Для аналізу впливу погрішності топоприв'язки на результуючу погрішність в визначенні місцеположення цілі запропонованим методом проведено експериментально-теоретичне дослідження. В якості цілі була обрана ККС перманентної мережі міжнародної служби IGS, що розташована в Полтаві (POLV). В якості приймача на стартовій позиції обрано таку ж опорну GPS-станцію служби IGS, що розташована в Харкові (KHAR). Координати обох станцій в зовнішній геоцентричній системі координат СРНС GPS (WGS-84) отримані з вимірювальних (RINEX) файлів даних станції, доступних в мережі Internet [12]. На співпадаючі для обох станцій моменти часу на основі цих же файлів було обрано робоче сузір'я НС, еталонні координати яких на цей же момент часу взяті на ftp-сервері NASA [13].

Графік залежності Θ від погрішності топоприв'язки стартової позиції представлено на рис. 3. Суцільна лінія характеризує запропонований метод, переривчаста – простий перерахунок координат об'єкту ураження.

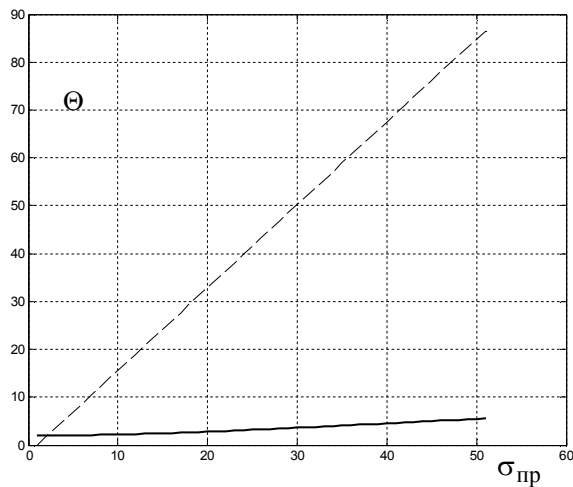


Рис. 3. Залежність Θ від погрішності топоприв'язки стартової позиції

З аналізу даного графіку можливо зробити висновки про те, що використання запропонованого методу на відміну від простого перерахунку координат об'єкту ураження в систему координат вогневого засобу, є малочутливим до погрішності топоприв'язки стартової позиції.

Висновки

Таким чином метод визначення координат цілі безпосередньо в системі координат вогневого засобу, що запропоновано, малочутливий до погрішностей топоприв'язки стартової позиції та дозволяє проводити підготовку до стрільби з закритих позицій з заданим КІВ.

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПОРАЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ОГНЕВОГО СРЕДСТВА ПО ДАННЫМ ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ И ИНФОРМАЦИИ ОТ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.П. Деденок, А.С. Петренко

Предложен метод получения координат объекта поражения непосредственно в системе координат огнестрельного средства по данным целеуказания, позволяющий компенсировать погрешности топогеодезической привязки стартовой (огневой) позиции огнестрельного средства.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы, высокоточное оружие, система координат, целеуказание, огнестрельное средство, объект поражения.

METHOD OF DECISION OF TASK OF POSITION-FIX OF OBJECT OF DEFEAT IN THE SYSTEM OF COORDINATES OF FIRE WEAPON FROM DATA OF POINTING OF TARGET AND INFORMATION FROM THE SATELLITE RADIONAVIGATION SYSTEMS

V.P. Dedenok, A.S. Petrenko

The method of receipt of coordinates of object of defeat directly in the system of coordinates of fire weapon is offered from data of pointing of target, allowing to compensate to the error of geodesic attachment of starting (fire) position of fire weapon.

Keywords: satellite radionavigation systems, high-fidelity weapon, system of coordinates, pointing of target, fire weapon, object of defeat.

Список літератури

1. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии (дивизион, батарея, взвод, орудие (ПС и УО-83). Часть 1. – М.: Воениздат. 1984. – 376 с.
2. Военная техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалам: http://nik1911.ucoz.ru/publ/voennaja_tekhnika/artillerija/artillerijskie_boepripasy_sledujushhego_pokolenija/15-1-0-4012.
3. Военно-политическое обозрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалам: http://3mv.ru/publ/v_germanii_provodjat_isspytaniya_unikalnogo_snarjada_vulcano_s_dalnostju_v_53_kn/1-1-0-17900.
4. Применение геоинформационных технологий в военном деле [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалам: http://www.rau.su/observer/N5_2008/037_045.pdf.
5. Стрельба за радиогоризонт [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалам: http://old.vko.ru/article.asp?pr_sign=archive.2005.24.03.
6. http://www.conf-ulstu.ru/aaa_15.php.
7. <http://topwar.ru/17195-metody-navigacii-krylatyh-raket.html>.
8. Сайт «Безпека» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.bezpeka.com/ru/news/2007/02/08/5902.html>.
9. Абрамеев С.В. Глобальные навигационные спутниковые системы : пособие для студентов фак. радиофизики и компьютерных технологий / С.В. Абрамеев, В.А. Саечников, А.А. Спиридонов. – Минск: БГУ, 2011. – 147 с. – (Аэрокосмические технологии).
10. Инженерный справочник по космической технике. Изд. 2-е перераб. и доп.; Под ред. А.В. Солодова. М. – Воениздат, 1977. – 430 с.
11. Navstar GPS Space Segment / Navigation User Interfaces. Interface control document. ICD-GPS-200. – ARINC Research Corp. – 1993. – 160 с.
12. <http://igs.bkg.bund.de/filestatus/hourlyrinex>.
13. The International GNSS Service [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалам: <http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/product>.

Надійшла до редколегії 22.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.