

Б. А. Лісогорський, І. А. Таран, Г. В. Худов

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

ІМІТАЦІЙНЕ СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЕКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ У БАГАТОПОЗИЦІЙНОМУ РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ КОМПЛЕКСІ КОНТРБАТАРЕЙНОЇ БОРОТЬБИ

Предметом вивчення в статті є метод імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багато-позиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби. **Метою** є проведення імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби. **Завдання:** визначення точності вимірювання місцеположення вогневого стріляючого засобу; для заданого місцеположення вогневого стріляючого засобу провести розрахунок параметрів траекторії польоту об'єкту (міни, снаряду) при веденні вогню по визначеній цілі; моделювання вектору вимірювань координат об'єкту (міни, снаряду) вогневого стріляючого засобу на траекторії його польоту (вектору траекторних вимірювань) з урахуванням випадкових помилок траекторних вимірювань. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, методи оптимізації, імітаційного статистичного моделювання. Отримані такі **результати**. Визначені точності вимірювання місцеположення вогневого стріляючого засобу. Для заданого місцеположення вогневого стріляючого засобу проведено розрахунок параметрів траекторії польоту об'єкту (міни, снаряду) при веденні вогню по визначеній цілі. Проведено моделювання вектору вимірювань координат об'єкту (міни, снаряду) вогневого стріляючого засобу на траекторії його польоту (вектору траекторних вимірювань) з урахуванням випадкових помилок траекторних вимірювань. **Висновки.** Запропоновані підходи щодо імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби. З використанням розроблених підходів можливо визначити матрицю траекторних вимірювань з урахуванням помилок вимірювання координат об'єкту (міни, снаряду) на траекторії на різних пунктах прийому багатопозиційного радіолокаційного комплексу контрбатарейної боротьби. Напрямоком подальших досліджень є розробка підходів щодо інших кроків імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби.

Ключові слова: імітаційне статистичне моделювання, траекторні вимірювання, багатопозиційний комплекс, контрбатарейна боротьба, помилка траекторних вимірювань, міна, снаряд.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Досвід участі Збройних Сил (ЗС) України в операції Об'єднаних сил та антитерористичній операції свідчить про широке використання мінометів та артилерійських систем при обстрілі позицій військ та житлових кварталів, при цьому набула поширення тактика застосування кочівних вогневих засобів [1]. Розвідка вогневих позицій кочівних артилерійських систем може здійснюватися декількома способами [1-3]:

- веденням повітряної та космічної розвідки;
- веденням звукової розвідки;
- веденням наземної радіолокаційної розвідки;
- веденням оптичної розвідки;
- веденням військової розвідки (засиланням розвідувальних дозорів та груп) або використанням агентури.

Найбільш ефективним способом розвідки вогневих позицій кочівних мінометних та артилерійських систем є ведення радіолокаційної розвідки станціями контрбатарейної боротьби (КББ) [4], що дозволяє в багатьох випадках отримати прийнятний рівень точності визначення координат позицій мінометів та артилерійських систем для подальшого їх знищення або придушення в ході КББ. В той же час, в деяких випадках рівень точності не є достатнім, що потребує пошуку нових підходів щодо підвищення ефективності застосування радіолокаційних станцій КББ.

Мета статті – викладення методики імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз методів визначення координат об'єктів проводився в [5-8] при визначенні координат повітряних цілей радіолокаційними засобами розвідки повітряного противника, в [9] при визначенні координат космічних об'єктів та в [10, 11] при визначенні координат джерел сейсмічних збурень. Основні підходи, що запропоновані в наведених джерелах, можливо застосувати для оцінювання точності визначення позицій стріляючих вогневих засобів радіолокаційними станціями (РЛС) КББ. В той же час задача, що запропонована для вирішення, має певну специфіку, що потребує розробки відповідних методик. РЛС КББ, що застосовувались Збройними Силами України в ході ведення бойових дій на сході України (АН/ТРQ-36, АН/ТРQ-48), показали високу надійність та забезпечували виконання завдань КББ [4, 12, 13]. В той же час, в деяких випадках координати позицій стріляючих вогневих засобів вимірювалися з низькою точністю. Особливо це проявлялось при проведенні вимірювань з граничних відстаней.

В роботі проведені дослідження, що направлені на вироблення підходів щодо підвищення точності вимірювань координат стріляючих вогневих засобів існуючими радіолокаційними засобами КББ. Одним з основних шляхів цього, на думку авторів, являється використання багатопозиційної локації, що по-

перше, дозволить підвищити точність первинних (траекторних) вимірювань координат мін та снарядів, і, як наслідок, підвищить і точність вимірювань координат стріляючих вогневих засобів; по-друге, підвищить надійність комплексу КББ. Для підтвердження зроблених припущень необхідно розробити математичний апарат, який дозволить оцінити точність локації стріляючих вогневих засобів багатопозиційним радіолокаційним комплексом КББ. Запропоноване використання імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ. Проведені дослідження вказали на необхідність послідовного проведення чотирьох кроків при вирішенні даного завдання: спочатку необхідно провести моделювання вимірювань координат об'єкту (міни, снаряду) на траекторії польоту (траекторних вимірювань) в залежності від точності первинних вимірювань та просторової структури угруповання РЛС (далі – приймачів) КББ; після цього необхідно оцінити координати позицій вогневих засобів з використанням результатів, отриманих на першому кроці. Третій крок являє собою багаторазове повторення перших двох кроків та отримання вектору оцінок координат вогневого засобу. На четвертому кроці здійснюється статистична обробка отриманих оцінок та отримання параметрів еліпсу розсіювання.

Основна частина

1. Розрахунок матриці спостережень.

1.1. Розрахунок масиву координат "точних" значень координат об'єкту (міни, снаряду) (далі – снаряду) $x(t_i), y(t_i), z(t_i)$ в деякі моменти часу t_i .

Вхідні дані (рис. 1): α_A - азимут вильоту снаряду; β_A - кут місця вильоту; x_A, y_A, z_A – координати точки А вильоту снаряду.

Вихідні дані: "точні" значення координат снаряду $x(t_i), y(t_i), z(t_i)$ в моменти часу t_i .

Якщо не враховувати опір повітря, то координати D і z снаряду визначаються як:

$$D(t) = V_0 \cdot \cos \beta_A \cdot t, \quad (1)$$

$$z(t) = V_0 \cdot \sin \beta_A \cdot t - g \cdot t^2 / 2. \quad (2)$$

Час T_B польоту снаряду до точки В можна розрахувати як

$$T_B = 2 \cdot V_0 \cdot \sin \beta_A / g. \quad (3)$$

Як видно з рис. 1,

$$x(t_i) = x_A + D(t_i) \cdot \cos \alpha_A = x_A + V_0 \cdot \cos \beta_A \cdot \cos \alpha_A \cdot t_i,$$

$$y(t_i) = y_A + D(t_i) \cdot \sin \alpha_A = y_A + V_0 \cdot \cos \beta_A \cdot \sin \alpha_A \cdot t_i.$$

$$z(t_i) = V_0 \cdot \sin \beta_A \cdot t_i - g \cdot t_i^2 / 2. \quad (4)$$

1.2. Розрахунок масиву "точних" значень азимуту, кута місця і нахильної дальності.

Вхідні дані: X_{pp}, Y_{pp}, Z_{pp} – масиви координат пунктів прийому; "точні" значення координат снаряду $x(t_i), y(t_i), z(t_i)$ моменти часу t_i , отримані на кроці 1.1.

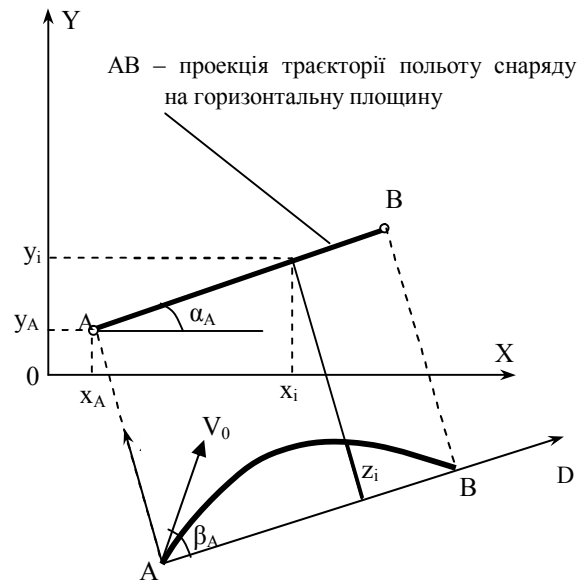


Рис. 1. Визначення "точних" значень координат об'єкту (міни, снаряду)

Вихідні дані: масив "точних" значень азимуту, кута місця і нахильної дальності (матриця U) з елементами $\alpha_{n,i}, \beta_{n,i}, D_{n,i}$, де n - номер пункту прийому.

Розрахунок елементів матриці U проводимо з використанням співвідношень (рис. 2):

$$\alpha_{n,i} = \arctg \frac{y(t_i) - Y_{ppn}}{x(t_i) - X_{ppn}}, \quad (5)$$

$$\beta_{n,i} = \arctg \frac{z(t_i) - Z_{ppn}}{\sqrt{(x_i - X_{ppn})^2 + (y_i - Y_{ppn})^2}}, \quad (6)$$

$$D_{n,i} = \sqrt{(x_i - X_{ppn})^2 + (y_i - Y_{ppn})^2 + (z_i - Z_{ppn})^2}. \quad (7)$$

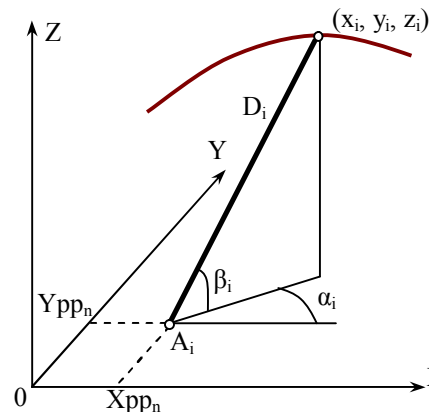


Рис. 2. Визначення елементів матриці U

1.3. Моделювання помилок первинних вимірювань $\partial \alpha_{n,i}, \partial \beta_{n,i}, \partial D_{n,i}$ і внесення цих помилок в матрицю U, отримання матриці спостережень \tilde{U} .

Вхідні дані: масив "точних" значень азимуту, кута місця і нахильної дальності (матриця U) з елементами $\alpha_{n,i}, \beta_{n,i}, D_{n,i}$, отриманий на кроці 1.2;

значення математичних очікувань $\bar{\alpha}_{n,i}$, $\bar{\beta}_{n,i}$ та $\bar{D}_{n,i}$ та середньоквадратичних відхилень $\sigma_{\alpha_{n,i}}$, $\sigma_{\beta_{n,i}}$ та $\sigma_{D_{n,i}}$ помилок первинних вимірювань

Вихідні дані: матриця спостережень \tilde{U} (оцінки азимуту $\alpha_{n,i}$, кута місця $\beta_{n,i}$ та нахильної дальності $D_{n,i}$).

2. Отримання векторів оцінок координат положень снаряду $\xi_i = (x(t_i), y(t_i), z(t_i))^T$ в момент часу t_i , $i = \overline{1, N}$.

Вхідні дані: оцінки азимуту $\alpha_{n,i}$, кута місця $\beta_{n,i}$ та нахильної дальності $D_{n,i}$, що отримані для i -го моменту часу на N пунктах прийому.

Вихідні дані: вектор $\xi^{<i>} = (x(t_i), y(t_i), z(t_i))^T$.

Порядок розрахунку. Поставимо завдання знаходження оцінки максимальної вірогідності координат снаряду. Будемо вважати, що в точці C_i траєкторії з невідомими координатами x_i, y_i, z_i в момент часу t_i знаходиться снаряд, і в N пунктах прийому в цей момент часу вимірюються азимуту, кути місця і нахильні дальності на точку C_i . В результаті формується вектор спостережень U_i розмірності $M - U_i = (\alpha_{1i}, \beta_{1i}, D_{1i}, \dots, \alpha_{Ni}, \beta_{Ni}, D_{Ni})^T$. Вектор невідомих координат снаряду в момент часу t_i $\xi_i = (x(t_i), y(t_i), z(t_i))^T$ являє собою вектор стану.

У відповідності зі зробленими припущеннями:

$\tilde{\alpha}_{n,i} = \alpha_{n,i} + \delta\alpha_{n,i}$, $\tilde{\beta}_{n,i} = \beta_{n,i} + \delta\beta_{n,i}$, $\tilde{D}_{n,i} = D_{n,i} + \delta D_{n,i}$, де $\alpha_{n,i}, \beta_{n,i}, D_{n,i}$ - "точні" значення азимуту, кута місця і нахильної дальності, відповідно, що виміряні n -м пунктом прийому в i -му положенні снаряду на траєкторії, що визначаються за формулами (5), (6), (7).

або у матричному вигляді

$$\Delta U_{i,j} = U_i - U_j, \quad (8)$$

Для моделі вимірювань, що задана виразом (8), функція вірогідності вектора вимірювань є така:

$$L(U_i, \zeta_i) = \text{const} \cdot e^{-\frac{1}{2}[U_i - U(\zeta_i)]^T \cdot K_{R,i}^{-1} \cdot [U_i - U(\zeta_i)]}, \quad (9)$$

де $K_{R,i}$ - кореляційна матриця ($M \times M$) помилок i -го первинного вимірювання, а через константу позначений множник перед експонентою, який не залежить від ζ_i та U_i . Максимум функції вірогідності досягається при мінімізації по ζ_i квадратичної форми $J(\zeta_i) = [U_i - U(\zeta_i)]^T \cdot K_{R,i}^{-1} \cdot [U_i - U(\zeta_i)]$:

$$J = \min_{\xi_i} [U_i - U(\zeta_i)]^T \cdot K_{R,i}^{-1} \cdot [U_i - U(\zeta_i)], \quad (10)$$

а необхідна умова мінімуму квадратичної форми J :

$$\frac{\partial J}{\partial \xi_i} = -2 \frac{\partial U^T(\xi_i)}{\partial \xi_i} K_{R,i}^{-1} [U_i - U(\xi_i)] = 0 \quad (11)$$

є системою рівнянь для визначення оцінки ξ_i .

Рівняння системи (8) нелінійні і для знаходження коренів системи в загальному випадку необхідно використовувати чисельні (ітераційні) методи.

Задаємо початкове наближення вектора координат снаряду в момент часу t_i як

$$\xi_i^{<0>} = (x(t_i)^{<0>}, y(t_i)^{<0>}, z(t_i)^{<0>})^T.$$

Відхилення параметрів, що вимірюються, заданих вектором спостереження U_i , від розрахункових, визначених для вектора початкового наближення, опишемо вектором нев'язок $\Delta U^{<0>}$, який визначимо як:

$$\Delta U_i^{<0>} = U_i - U(\xi_i^{<0>}). \quad (12)$$

Розкладаємо вектор $U(\xi_i^{<0>})$ в ряд Тейлора навколо точки початкового наближення. Якщо не враховувати похідні порядків, вищих від першого, то:

$$U(\zeta_i) = U(\xi_i^{<0>}) + \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>})$$

$$\text{або} \quad U(\xi_i) - U(\xi_i^{<0>}) = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>}).$$

З урахуванням (8):

$$(U_i - \Delta U_{i,j}) - U(\xi_i^{<0>}) = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>}),$$

і з урахуванням (12):

$$\Delta U_i^{<0>} = U_i - U(\xi_i^{<0>}) = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>}) + \Delta U_{i,j}.$$

Введемо позначення:

$$\Delta \zeta_i^{<0>} = (\zeta_i - \xi_i^{<0>}) = \begin{pmatrix} x_i - x_i^{<0>} \\ y_i - y_i^{<0>} \\ z_i - z_i^{<0>} \end{pmatrix},$$

$$B_i^{<0>} = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} =$$

$$= \begin{pmatrix} \left. \frac{\partial \alpha_{1,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \alpha_{1,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \alpha_{1,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \\ \left. \frac{\partial \beta_{1,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \beta_{1,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \beta_{1,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \\ \left. \frac{\partial D_{1,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{1,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{1,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \left. \frac{\partial D_{N,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{N,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{N,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \end{pmatrix}.$$

Порядок обчислення елементів матриці $B_i^{<0>}$ наведений в [14]. З урахуванням введених позначень вираз (12) перетворюється у:

$$\Delta U_i^{<0>} = B_i^{<0>} \cdot \Delta \zeta_i^{<0>} + \Delta U_i^{<0>}$$

Звідси

$$\Delta U_i^{<0>} = \Delta U_i^{<0>} - B_i^{<0>} \cdot \Delta \zeta_i^{<0>} \quad (13)$$

З урахуванням виразів (11), (13) необхідна умова максимуму функції вірогідності (9) по параметрам, що оцінюються, набуває вигляду

$$(B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} (\Delta U_i^{<0>} - B_i^{<0>} \cdot \Delta \zeta_i^{<0>}) = 0, \quad (14)$$

звідси

$$\Delta \zeta_i^{*<0>} = ((B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} B_i^{<0>})^{-1} (B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} \Delta U_i^{<0>}, \quad (15)$$

де $((B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} B_i^{<0>})^{-1}$ – оцінка кореляційної матриці помилок визначення координат снаряду в точці $\zeta_i^{<0>}$.

В рівняннях (14) та (15)

$$\Delta \zeta_i^{*<0>} = (\partial x_i^{*<0>}, \partial y_i^{*<0>}, \partial z_i^{*<0>})^T -$$

оптимальна оцінка поправок до початкового наближення координат снаряду, визначена по вектору спостережень U_i .

Уточнення місцеположення снаряду здійснюємо в ітераційному циклі, при цьому у якості початкового наближення координат снаряду на k -й ітерації використовується оцінка координат, що отримана шляхом введення поправок, розрахованих за виразом (12) на $(k-1)$ -й ітерації. На k -й ітерації маємо:

$$\zeta_i^{<k>} = \zeta_i^{<k-1>} + \Delta \zeta_i^{*<k>},$$

де $\zeta_i^{<k>}$ – оцінка координат снаряду в момент часу t_i , що отримана на k -й ітерації; $\Delta \zeta_i^{*<k>}$ – поправка

до початкового наближення на k -й ітерації; $\hat{\zeta}_i^{<k-1>}$ – оцінка координат снаряду на $(k-1)$ -й ітерації.

На кожній ітерації перераховуємо матриці часткових похідних $B_i^{<k>}$ і вектора нев'язок $\Delta U_i^{<k>}$ для нового значення початкового наближення.

Ітераційний процес виконуємо до тих пір, доки поправки

$$\Delta \zeta_i^{*<k>} = (\partial x_i^{*<k>}, \partial y_i^{*<k>}, \partial z_i^{*<k>})^T$$

на деякій k -й ітерації не виявляться по всім компонентам менше деякої раніше заданої малої величини δ_ζ :

$$\partial x_i^{*<0>} < \delta_\zeta, \partial y_i^{*<0>} < \delta_\zeta, \partial z_i^{*<0>} < \delta_\zeta.$$

Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, запропоновані підходи щодо імітаційного статистичного моделювання траєкторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ.

З використанням розроблених підходів можливо визначити матрицю траєкторних вимірювань з урахуванням помилок вимірювання координат снаряду на траєкторії на різних пунктах прийому багатопозиційного радіолокаційного комплексу КББ.

Подальші дослідження мають бути направлені на розробку підходів щодо інших кроків імітаційного статистичного моделювання траєкторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ, а саме:

оцінювання координат позицій вогневих засобів з використанням результатів, отриманих на першому кроці;

багаторазове повторення перших двох кроків та отримання вектору оцінок координат вогневого стріляючого засобу;

статистичну обробку отриманих оцінок та отримання параметрів еліпсу розсіювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Худов Г.В. Радіолокаційні засоби розвідки позицій кочівних мінометів / Г.В.Худов, Б.А.Лісогорський, В.Я.Боркульник // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2014. – № 3 (39). – С. 68–72.
2. Мусиенко А. Опыт боевого применения минометов / А.Мусиенко. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://fastmarksman.ru/1_pyt/2_spcnaz_8.php.
3. Красюк О.П. Розвідувальне забезпечення артилерії в локальних війнах та збройних конфліктах кінця ХХ – початку ХХІ століття / О.П.Красюк // Військово-науковий вісник Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – 2012. – Вип. 18. – С. 339–347.
4. Худов Г.В. Аналіз характеристик радіолокаційних станцій контрбатареїнної боротьби // Г.В. Худов, Б.А. Лісогорський / Системи озброєння і військова техніка, 2014. – Х.:ХУПС. – № 4 (40). – С. 50-54.
5. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
6. Черняк В.С. Многопозиционные радиолокационные системы на основе ММО РЛС / В.С. Черняк // Успехи современной радиоэлектроники. – 2012. – №8. – С. 29 – 46.
7. Дудуш А.С. Определение пространственных координат целей в многопозиционных радиолокационных системах на основе ММО РЛС / А.С.Дудуш // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 5 (112). – С. 29-33.
8. Седишев Ю.М. Об'єднання РЛС метрової діапазону хвиль в багатопозиційні радіолокаційні системи / Ю.М.Седишев, А.С.Дудуш // Наука і техніка Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – № 3 (12). – С. 83-88.
9. Березина С.И. Оценка ошибок определения местоположения сейсмического источника с использованием имитационного статистического моделирования / С.И.Березина, И.А.Таран // Восточный европейский журнал передовых технологий. – Вип. 4 (4), 2003. – С 13-15.

10. Таран И.А. Оценка потенциальной точности совместного определения координат источника сейсмических возмущений и скорости распространения сейсмической волны сейсмическими разведывательно-сигнализационными приборами / И.А.Таран // Збірник наукових праць ХВУ. – Вип. 3 (46), 2003. – С. 84-86.
11. Пастушенко Н.С. Совершенствование методов определения местоположения сейсмического источника / Н.С. Пастушенко, А.И. Солонец, И.А. Таран // Системи обробки інформації / Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 10 (37). – 248 с.
12. Крупников А. Радиолокационные станции контрбатареиной борьбы основных зарубежных стран // А. Крупников / Зарубежное военное обозрение, 2010. - № 12. – С. 32-41.
13. Кучук, Г.А. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук, І.В. Рубан, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.
14. Лисогорський Б.А., Таран І.А., Худов Г.В. Оцінка потенційної точності траєкторних вимірювань в багатопозиційній системі радіолокаційних станцій контрбатареиной боротьби // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2017. – № 6(46). – С. 49–52.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш,

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

Received 11.10.2018

Accepted for publication 16.01.2019

Имитационное статистическое моделирование траекторных измерений в многобазовом радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы

Б. А. Лисогорский, И. А. Таран, Г. В. Худов

Предметом изучения в статье есть метод имитационного статистического моделирования траекторных измерений в многопозиционном комплексе контрбатареиной борьбы. **Целью** является проведение имитационного статистического моделирования траекторных измерений в многопозиционном радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы. **Задачи:** определение точности измерения местоположения огневого стреляющего средства; для заданного местоположения огневого стреляющего средства проведение расчета параметров траектории полета объекта (мины, снаряда) при ведении огня по определенной цели; моделирование вектора измерений координат объекта (мины, снаряда) огневого стреляющего средства на траектории его полета (вектора траекторных измерений) с учетом случайных ошибок траекторных измерений. Используемыми **методами** являются: методы теории вероятности, математической статистики, методы оптимизации, имитационного статистического моделирования. Получены следующие **результаты**. Определены точности измерения местоположения огневого стреляющего средства. Для заданного местоположения огневого стреляющего средства проведен расчет параметров траектории полета объекта (мины, снаряда) огневого стреляющего средства при ведении огня по определенной цели. Проведено моделирование вектора измерений координат объекта (мины, снаряда) огневого стреляющего средства на траектории его полета (вектора траекторных измерений) с учетом случайных ошибок траекторных измерений. **Выводы.** Предложены подходы к имитационному статистическому моделированию траекторных измерений в многопозиционном радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы. С использованием разработанных подходов возможно определить матрицу траекторных измерений с учетом ошибок измерений координат объекта (мины, снаряда) на траектории на разных пунктах приема многопозиционного радиолокационного комплекса контрбатареиной борьбы. Направлением дальнейших исследований является разработка подходов по другим этапам имитационного статистического моделирования траекторных измерений в многопозиционном радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы.

Ключевые слова: имитационное статистическое моделирование, траекторные измерения, многопозиционный комплекс, контрбатареиная борьба, ошибка траекторных измерений, мина, снаряд.

Imitative statistical modeling of tractor measurements in multi-basis radar complex of counter-treatment combating

B. Lisogorsky, I. Taran, H. Khudov

The **subject matter** of the article is the method of imitating statistical modeling of trajectory measurements in a multi-item counter-battery control system. The **goal** is the simulation of statistical simulation of trajectory measurements in a multi-station radar complex of counter-battery. The **tasks** are the determination of the accuracy of measuring the location of fire firing means; for a given location of fire firing means, the calculation of the parameters of the object's flight path (mines, projectile) when firing at a specific target; modeling of the vector of measurements of the coordinates of an object (mine, projectile) of a fire firing means on the trajectory of its flight (vector of trajectory measurements), taking into account random errors of trajectory measurements. The **methods** used are: the methods of probability theory, mathematical statistics, optimization methods, imitational statistical modeling. The following **results** were obtained. The accuracy of measuring the location of fire firing means was determined. For a given location of fire firing means, the parameters of the trajectory of the object (mines, projectile) of the fire firing means were calculated when firing at a specific target. A simulation of the measurement vector of the coordinates of the object (mines, projectile) of the fire firing means on the trajectory of its flight (the vector of trajectory measurements) was carried out taking into account random errors of the trajectory measurements. **Conclusions.** The approaches to the simulation of statistical modeling of trajectory measurements in the multi-position radar complex of the counter-battery control are proposed. Using the developed approaches, it is possible to determine the trajectory measurement matrix taking into account the measurement errors of the object coordinates (mines, projectile) on the trajectory at different reception points of the multi-position radar complex of the counter-battery combat. The direction of further research is the development of approaches for other stages of imitational statistical modeling of trajectory measurements in a multi-position radar complex of counter-battery control.

Keywords: simulation statistical modeling, trajectory measurements, multi-position complex, counter-battery struggle, trajectory measurement error, mine, projectile.