

УДК 623.71:358.39

Р.В. Сергієнко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

ОЦІНКА НЕПАРАЛЕЛЬНОСТІ ВІЗУВАЛЬНОЇ ОСІ ВІЗИРА ДО ДИНАМІЧНОЇ ОСІ МАШИНИ МЕТОДОМ ЗАЇЗДУ МІЖ ДВОМА ПУНКТАМИ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Обґрунтовано можливість проведення комплексної польової вивірки навігаційної апаратури, що включає в себе визначення коефіцієнта коректури шляху, вивірку візира та визначення відходу і вивірку гірокурсопоказчика шляхом здійснення заїзду між двома пунктами геодезичної мережі; наведено правила визначення непаралельності осі візира до динамічної осі машини під час проведення сумісної вивірки ланцюга зняття шляху та гірокурсопоказчика.

Ключові слова: польові вивірки, відхід, курсовий гіроскоп, коректура шляху, візир, дирекційний кут, подовжня вісь

Постановка проблеми

Здійснення польових вивірок навігаційної апаратури (НА) – один з найважливіших заходів топогеодезичної підготовки дій РВіА. Від якості його проведення залежить швидкість здійснення топогеодезичної прив'язки елементів бойового порядку підрозділів ракетних військ і артилерії та її точність, а також ефективність вирішення навігаційних задач за допомогою цієї навігаційної апаратури [1, 2].

Існує чітко визначений порядок проведення польових вивірок гірокурсопоказчика, візира, визначення коефіцієнта коректури шляху. Однак здійснення цих вивірок потребує значного часу, а також створення ділянки для проведення вивірок, яка має бути рівною, прямою та достатньої довжини (1000 м). Пошук місця та створення даної ділянки потребує затрат зусиль та часу, особливо в умовах закритої та пересіченої місцевості. Ці незручності наштовхують на пошук шляхів скорочення часу та обсягів робіт на проведення вивірок. Розглянемо, що вже зроблено у цьому напрямі; у викладенні матеріалу залишимо термінологію, що використовується у технічній літературі та керівних документах [2, 4] щодо експлуатації навігаційної апаратури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Подібність підходів при визначенні коефіцієнта коректури шляху та вивірці візира призвела до розробки алгоритму сумісної вивірки ланцюга визначення коефіцієнта коректури шляху та візирного пристрою [1, 2]. Однак при цьому залишається необхідність у створенні мірної (вивірочної) ділянки, до якої висувається сукупність вимог: як до ділянки для вивірення ланцюга шляху і як ділянки для вивірки

візирного пристрою. Крім того, цій сумісній вивірці повинна передувати вивірка гірокурсопоказчика, яка триває до 2,5 год.

Відхід головної осі курсового гіроскопа відносно площини меридіана, як правило, рівномірний [3], тому з метою скорочення часу на проведення вивірок можна зменшити час на проведення цієї вивірки удвічі, після чого відхід за півгодини екстраполюється, як для 1 години [3]. Отримане в результаті екстраполяції значення використовується для оцінки точності роботи НА та визначення поправки у значення потенціометра електробалансування. Це дає можливість зменшити час на здійснення вивірки гірокурсопоказчика, але все ж не виключає необхідність проведення решти вивірок.

Розроблено також порядок проведення сумісної вивірки гірокурсопоказчика та ланцюга зняття шляху [2]. Але ця сумісна вивірка не дозволяє виявити непаралельність осі візира до динамічної осі машини.

Тому постає питання, чи можна одночасно з цією сумісною вивіркою оцінити непаралельність осі візира до динамічної осі машини, тобто визначити похибку візира.

Формулювання мети статті

Метою дослідження обрано розробку метода здійснення комплексної польової вивірки навігаційної апаратури, що включає в себе визначення коефіцієнта коректури шляху (вивірку ланцюга зняття шляху), вивірку візирного пристрою та визначення відходу і вивірку гірокурсопоказчика.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо характер впливу відходу $\Delta\alpha$ головної осі курсового гіроскопа та непаралельності осі

візира до осі машини $\Delta\beta$ на визначення координат з плином часу. Значення $\Delta\beta$ з часом не змінюється, і через це похибка визначення прямокутних координат змінюється лінійно з віддаленням машини від точки початкового орієнтування. На відміну від непаралельності осі візира до динамічної осі машини відхід головної осі курсового гіроскопа у початковий момент часу дорівнює нулю і далі збільшується за законом, близьким до лінійного [3]. Це викликає нелінійність збільшення похибки визначення координат з плином часу та відповідно з віддаленням від початкової точки орієнтування.

Далі розглянемо способи визначення (оцінки) результуючого відходу. Перший з них є елементом сумісної вивірки ланцюга зняття шляху та візира [2] і передбачає порівняння дирекційного кута осі машини $\alpha_{осі(нр)}$, зчитаного зі шкали КУРС курсопрокладача НА, з визначеним на кінцевій точці за відомим орієнтирним напрямом (визначеним на геодезичній основі) $\alpha_{осі(ум)}^*$. Він буде результатом впливу відходу осі курсового гіроскопа.

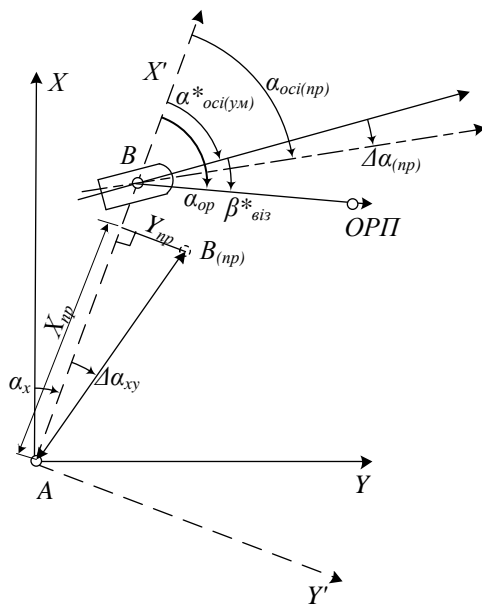


Рис. Принцип визначення відходу осі курсового гіроскопа та її впливу на похибку визначення координат

Другим способом є безпосереднє визначення впливу визначення поточного дирекційного кута позовжньої осі машини на визначення координат (рис. 1): це буде паралактичний кут $\Delta\alpha_{xy}$, що спирається на похибку визначення умовної ординати Y_{np} . Сутність впливу значення $\Delta\beta$ та відходу осі курсового гіроскопа на значення $\Delta\alpha_{xy}$ буде дещо іншою. Як було зазначено вище, вплив непаралельності осі візира до динамічної осі машини на визначення координат лінійно залежить від віддалі між початковою і кінцевою точками. Відхід осі курсового гіроскопа змінюється з часом, і тому з переміщенням машини

від початкової точки до кінцевої, маємо квадратичну залежність від часу: похибка від відходу залежить від часу, і відхід в свою чергу також залежить від часу. Тому відхід, визначений як різниця приладного і розрахованого на кінцевій точці дирекційного кута осі машини, та кут, що залежить від Y_{np} , будуть відрізнятись. І, визначивши цю різницю, спробуємо визначити величину відходу курсового гіроскопа і величину непаралельності осі візира до осі машини. Очевидно, якщо власний відхід осі курсового гіроскопа дорівнює нулю, то результуючий відхід $\Delta\alpha_{(нр)}$ буде спричинений значенням $\Delta\beta$ і буде їй дорівнювати. Якщо ж візуальна вісь візира та динамічна вісь машини паралельні (збігаються), то ці відходи $\Delta\alpha_{(нр)}$ і $\Delta\alpha_{xy}$ будуть відрізнятись внаслідок відмінності залежностей впливу відходу осі курсового гіроскопа на ці результати відходу. Таким чином, знаючи результати відходу, визначені двома способами, ми можемо визначити відхід осі курсового гіроскопа $\Delta\alpha$ та непаралельність осі візира до динамічної осі машини $\Delta\beta$. Для цього треба розв'язати систему рівнянь, що описує перший та другий спосіб оцінки відхилень.

Абсолютний відхід $\Delta\alpha_{(нр)}$, визначений як різниця приладного значення $\alpha_{осі(нр)}$ та значення, визначеного за відомим орієнтирним напрямом на кінцевій точці маршруту, буде рівним відходу курсового гіроскопа за час t [2]

$$\Delta\alpha_{(нр)} = \delta\alpha_t \cdot t, \quad (1)$$

де $\delta\alpha_t$ – швидкість відходу осі курсового гіроскопа.

Визначимо різницю у прирості ординати Y_{np} , яка у випадку відсутності відходу, неузгодженості осі візира і динамічної осі машини та похибки початкового орієнтування буде дорівнювати нулю. Для простоти обчислень припустивши, що відхід є незначним, визначимо зміщення Y_{np} на достатньо малій ділянці траєкторії руху як добуток довжини проекції $\Delta X_{(нр)i}$ цієї ділянки на вісь X' на значення відходу $\Delta\alpha_i$ на даний момент. Довжину ділянки визначимо як добуток швидкості руху V_{Xi} вздовж умовної осі абсцис X' на проміжок часу Δt_i , припустивши, що ця швидкість є рівномірною на проміжку інтегрування, а також те, що внаслідок малості кута відходу $\alpha \operatorname{tg} \alpha = \alpha$. Враховуючи це, зміщення $\Delta Y_{np(i)}$ на достатньо малій i -й ділянці траєкторії руху буде дорівнювати

$$\begin{aligned} \Delta Y_{np(i)} &= \Delta X_{(нр)i} \cdot \operatorname{tg}(\Delta\alpha_i) = \\ &= \Delta X_{(нр)i} \cdot \Delta\alpha_i = V_{Xi} \cdot \Delta t_i \cdot \delta\alpha_t \cdot t_i. \end{aligned} \quad (2)$$

Для остаточного визначення різниці у прирості ординати Y_{np} проінтегруємо отриманий вираз:

$$Y_{np} = \int V_{Xi} \cdot \delta\alpha_t \cdot t \cdot dt. \quad (3)$$

Припустивши, що швидкість V_X переміщення вздовж умовної осі абсцис X' та швидкість відходу осі курсового гіроскопа $\delta\alpha_i = \delta\alpha_t$ протягом руху постійні, винесемо їх за знак інтеграла та знайдемо різницю приросту Y_{np}

$$\begin{aligned} Y_{np} &= \int V_X \cdot \delta\alpha_t \cdot t \cdot dt = V_X \cdot \delta\alpha_t \int t dt = \\ &= V_X \cdot \delta\alpha_t \frac{t^2}{2} = X_{np} \cdot \delta\alpha_t \frac{t}{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Знаючи різницю приросту ординати Y_{np} , визначимо паралактичний кут $\Delta\alpha_{xy}$, на який вона спирається

$$\operatorname{tg} \Delta\alpha_{xy} = \Delta\alpha_{xy} = \frac{Y_{np}}{X_{np}} = \frac{X_{np} \cdot \delta\alpha_t \frac{t}{2}}{X_{np}} = \delta\alpha_t \frac{t}{2}. \quad (5)$$

Аналогічні міркування за умови, якщо кут непаралельності осі візира та динамічної осі машини $\Delta\beta$ не дорівнює нулю, приводять до залежності паралактичного кута $\Delta\alpha_{xy}$, що спирається на похибку визначення умовної ординати Y_{np} , від кута $\Delta\beta$ та відходу осі курсового гіроскопа за одиницю часу. У цьому випадку

$$\begin{aligned} \Delta Y_{np(i)} &= \Delta X_{(np)i} \cdot (\Delta\alpha_i + \Delta\beta) = \\ &= V_{Xi} \cdot \Delta t_i \cdot (\delta\alpha_t \cdot t_i + \Delta\beta) = V_{Xi} \cdot \Delta t_i \cdot \delta\alpha_t \cdot t_i + V_{Xi} \cdot \Delta t_i \cdot \Delta\beta, \\ Y_{np} &= \int V_{Xi} \cdot \delta\alpha_t \cdot t \cdot dt + \int V_{Xi} \cdot \Delta\beta \cdot dt. \end{aligned}$$

Інтегрування цього виразу дає наступні результати

$$\begin{aligned} Y_{np} &= V_X \cdot \delta\alpha_t \int t dt + V_X \cdot \Delta\beta \int dt = \\ &= V_X \cdot \delta\alpha_t \frac{t^2}{2} + V_X \cdot t \cdot \Delta\beta = X_{np} \cdot \delta\alpha_t \frac{t}{2} + X_{np} \cdot \Delta\beta. \end{aligned}$$

Паралактичний кут $\Delta\alpha_{xy}$, на який спирається різниця приросту ординати Y_{np}

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \Delta\alpha_{xy} = \Delta\alpha_{xy} &= \frac{Y_{np}}{X_{np}} = \frac{X_{np} \cdot \delta\alpha_t \frac{t}{2} + S \cdot \Delta\beta}{X_{np}} = \\ &= \delta\alpha_t \frac{t}{2} + \Delta\beta. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином, система рівнянь (1) і (6) описує вплив відходу осі курсового гіроскопа та похибки візира на визначення координат кінцевої точки та передачу орієнтування за допомогою гірокурсопоказчика навігаційної апаратури:

$$\begin{cases} \Delta\alpha_{(np)} = \delta\alpha_t \cdot t \\ \Delta\alpha_{xy} = \frac{Y_{np}}{X_{np}} = \delta\alpha_t \frac{t}{2} + \Delta\beta. \end{cases}$$

Визначивши з першого рівняння значення відходу $\delta\alpha_t$

$$\delta\alpha_t = \frac{\Delta\alpha_{(np)}}{t},$$

знайдемо похибку візира з формули (6)

$$\Delta\beta = \frac{Y_{np}}{X_{np}} - \delta\alpha_t \frac{t}{2}. \quad (7)$$

Ми отримали залежність, за якою можна визначити похибку візира, попередньо визначивши відхід осі курсового гіроскопа за правилами, які зазначено в [2].

Спостереження за динамікою відходу на стоянці осі курсового гіроскопа гірокурсопоказчика дає підстави стверджувати, що практично швидкість відходу осі курсового гіроскопа гірокурсопоказчика є сталою. Можливі похибки, що можуть виникнути внаслідок цього припущення, будуть співставні з похибками виміру та розбивання мірної ділянки для вивірки візира, встановлення машини над початковою та кінцевою точками. Це свідчить про те, що наведена у роботі методика може бути використана для визначення похибки візира під час сумісної вивірки ланцюга зняття шляху та гірокурсопоказчика. В таблиці наведено результати порівняння значення $\Delta\beta$, отриманого традиційним способом та за формулою (7). Ці результати були отримані під час практичного визначення непаралельності осі візира динамічної осі машини та мірній ділянці та заїздом між двома пунктами геодезичної мережі. При цьому довжина маршруту склала 3784 м, віддаль між кінцевою та початковою точками – 3642 м.

Таблиця

Порівняльна таблиця визначення непаралельності осі візира динамічної осі машини різними способами

Спосіб визначення	Значення непаралельності осі візира динамічної осі машини			
	0-00	0-02	0-06	0-11
На мірній ділянці	0-00	0-02	0-06	0-11
Запропонований спосіб	0-01	0-01	0-04	0-09

Аналіз таблиці дає підстави стверджувати, що практичні дослідження впливу відходу осі курсового гіроскопа на визначення координат точок, проведені в процесі експлуатації та вивірок навігаційної апаратури, відповідають отриманим в роботі результатам.

Подальша оцінка ефективності наведеного методу за різних умов, визначення умов його засто-

сування та врахування нерівномірності швидкості V_x переміщення машини вздовж умовної осі X' , направленої від початкової до кінцевої точки, ϵ , на думку автора, перспективним напрямом подальших досліджень, що дозволять спростити підготовку до проведення польових вивірок навігаційної апаратури за умов браку часу та несприятливих для вибору мірної ділянки умов місцевості.

Висновки

1. Застосування розглянутої в роботі залежності для визначення непаралельності візуальної осі візира до динамічної осі машини дозволить паралельне проведення вивірки візира разом із сумісною вивіркою шляхового пристрою та гірокурсопоказчика.

2. Необхідно зазначити, що наведена залежність (7) ґрунтується на припущенні, що відхід осі курсового гіроскопа з часом рівномірний. Результати проведених досліджень цього відходу дозволяють стверджувати, що переважна більшість приладів збереження напрямку, що використовується у НА, мають сталу швидкість відходу.

3. Здійснення заїзду між трьома та більше точками, які є пунктами геодезичних мереж, дозволить забезпечити достовірність польової вивірки

навігаційної апаратури із застосуванням наведених залежностей.

4. Відхід від створення вивірочної ділянки дасть змогу підвищити прихованість дій підрозділів під час організації вивірок навігаційної апаратури.

Список літератури

1. *Військова топографія та топогеодезична підготовка ракетних військ і артилерії Сухопутних військ. Ч.2. Топогеодезична підготовка: курс лекцій / С.Г. Власенко та ін. – Львів: АСВ, 2011. – 532 с.*

2. *Указания по работе на топогеодезических приборах ракетных войск и артиллерии Сухопутных войск. – М.: Воениздат, 1981, –304 с.*

3. *Приходько А.И. Вивірки апаратури топоприв'язка та засобів орієнтування командирських машин управління: навчальний посібник / А.И. Приходько. – Суми: ВІ РВіА, 2002. – 80 с.*

4. *Топопривязчик ГАЗ-66Т / Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 180 с.*

Рецензент: к.т.н., с.н.с. Тимчук В.Ю., Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів.

ОЦЕНКА НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ ВИЗИРНОЙ ОСИ ВИЗИРА К ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСИ МАШИНЫ МЕТОДОМ ЗАЕЗДА МЕЖДУ ДВУМЯ ПУНКТАМИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

Р.В. Сергиенко

Обоснована возможность проведения комплексной полевой выверки навигационной аппаратуры, что включает в себя определение коэффициента корректуры пути, выверку визира и определение ухода и выверку гироскопуказателя путем осуществления заезда между двумя пунктами геодезической сети; приведены правила определения непараллельности оси визира к динамической оси машины во время совместной выверки цепи снятия пути и гироскопуказателя.

Ключевые слова: *полевые выверки, уход, курсовой гироскоп, корректура пути, визир, дирекционный угол, продольная ось.*

ESTIMATION OF ANGULAR DISPLACEMENT OF DRIFT SIGHT AXIS TO DYNAMIC AXIS OF VEHICLE BY MOVEMENT BETWEEN TWO SURVEY POINTS

R. Serhiienko

The possibility of implementation of integrated navigational apparatus adjustment which includes correction path coefficient determination, drift sight and gyroazimuth adjustments by moving between two survey points is grounded. Mathematical formulations for angular displacement of drift sight axis to dynamic axis of vehicle determination during complex adjustment of traversed path transducer and gyroazimuth are given.

Key words: *field adjustment, drift, heading gyro, correction path coefficient, drift sight, position angle, longitudinal axis.*