

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОБТ

УДК 623.4.023.47:358.13(075.8)

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.30.2024.57-62>

Р.В. Сергієнко, П.С. Перій

*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів**Article history: Received 23 February 2024; Revised 12 March 2024; Accepted 14 March 2024*

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ УМОВНОГО ДИРЕКЦІЙНОГО КУТА НАПРЯМКУ ДІЛЯНКИ ДЛЯ ВИВІРЕННЯ ВІЗИРНОГО ПРИСТРОЮ

Автономна навігаційна апаратура, незалежна від прийому супутникових навігаційних сигналів, є необхідною альтернативою для супутникових та псевдо-супутникових засобів навігації. У цій роботі досліджено похибки визначення вихідного дирекційного кута поздовжньої осі машини при проведенні вивірень візирного пристрою та оцінено їх вплив на точність підготовки даних для стрільби наземної артилерії. Візирний пристрій є необхідним функціональним пристроєм для визначення дирекційного кута поздовжньої осі машини та передачі орієнтування за допомогою курсової системи навігаційної апаратури. Результатом вивірення візирного пристрою є визначення кута непаралельності оптичної осі цього візирного пристрою до поздовжньої осі машини, яке проводять на ділянці для вивірень. У роботі доведено, що вибір умовного дирекційного кута напрямку ділянки для вивірень 60-00 є оптимальним з огляду на мінімізацію впливу похибок читання відліків з лічильників координатора, які у свою чергу використовуються при вивіренні візирного пристрою. Також обґрунтовано необхідність врахування значення дирекційного кута поздовжньої осі машини для типів автономної навігаційної апаратури, які використовують акселерометри для визначення положення машини і наступного обчислення дирекційного кута поздовжньої осі машини.

Ключові слова: візирний пристрій, дирекційний кут поздовжньої осі машини, похибка зчитування відліку, навігаційна апаратура, підготовка даних для стрільби наземної артилерії.

Постановка проблеми

У сучасних умовах російсько-української війни артилерія є однією зі складових у вогневому ураженні противника. Одним з критеріїв ефективності артилерійських засобів є точність визначення топографічних даних по цілі, яка відповідно залежить від точності топогеодезичної прив'язки як вогневої позиції, так і засобу розвідки, як що точності визначення координат, так і до точності орієнтування приладів та гармат, тобто визначення дирекційних кутів орієнтирних напрямків [1].

Оскільки засоби супутникової навігації мають певні вразливості та недоліки [10], одним із засобів топогеодезичної прив'язки є автономна навігаційна апаратура (АНА). За своїм типом вона є одометричною, тобто інформація про пройдений шлях та зміну курсу відпрацьовують відповідно датчик пройденого шляху та курсовий пристрій відповідно. Зазначимо, що у ЗС інших країн використовують також інерціальну АНА, яка вимірює за допомогою взаємно ортогональних акселерометрів пройдений шлях за проєкціями на координатні осі. Необхідно вказати, що

незалежно від типу автономної навігаційної апаратури вона потребує початкового встановлення координат вихідної точки та початкового орієнтування, тобто визначення дирекційного кута поздовжньої осі машини [2]. Одним з необхідних засобів для визначення дирекційного кута поздовжньої осі машини, або ж передачі дирекційного кута за умови відомого дирекційного кута поздовжньої осі машини, є візирний пристрій. При цьому важливо, щоб його візирна вісь при нульових установках була паралельною до поздовжньої динамічної осі машини. Ця паралельність з часом може бути порушена через деформації корпусу машини чи інших вузлів та деталей. Тому під час проведення польових вивірень навігаційної апаратури виконують визначення кута непаралельності осі візирного пристрою до поздовжньої динамічної осі машини. Дослідження системи похибок, яка супроводжує визначення цього кута непаралельності, свідчить про вплив похибки зчитування відліків з лічильників координатора, які у свою чергу залежать від значення умовного дирекційного кута напрямку ділянки для вивірення візирного пристрою, що і визначає актуальність цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розв'язанню питань навігації засобів розвідки та вогневого ураження присвячено значну кількість публікацій, які розглядають як наземні, так і повітряні об'єкти.

У роботі [8] проведено короткий аналіз точності автономних навігаційних систем та шляхи зменшення похибок систем визначення координат на основі акселерометричних датчиків, однак робота головним чином розглядає автономні навігаційні системи літальних апаратів.

У роботах [4, 11] досліджено можливість визначення кута непаральності осі візира до поздовжньої осі машини на скороченій ділянці, контрольним заїздом, але авторами не розглядалася і не врахована система похибок, яка супроводжує це визначення, хоча при роботі на скороченій ділянці значно зростає вплив похибок центрування, нахилу та зчитування відліків з лічильників координатора.

Визначення координат цілей малогабаритними літальними апаратами з використанням методів трилатерації розглянуто у роботі [5], але при цьому не розглянуто можливість врахування орієнтації бортової камери з далекоміром, а отже і дирекційного кута поздовжньої осі літального апарата при здійсненні обчислень координат цілі, щоб могло істотно спростити обчислення. У роботах [6, 7] наведено функціональну схему автономної навігаційної апаратури машини з гусеничним рушієм, з можливістю коригувати визначення місцеположення, у тому числі і орієнтування, засобами технічного зору, та визначенням зміни орієнтування за різницею швидкостей гусеничних рушіїв, однак у роботі не наголошено на впливі похибки внаслідок дискретизації вимірювань на точність визначення орієнтації машини.

Перспективність розгляду автономних навігаційних систем, у тому числі на основі алгоритмів безплатформових інерційних систем, підтверджується їх широким застосуванням, у тому числі і для систем курсової стабілізації великовагових автомобілів [9]. Огляд досліджень, які стосуються автономних навігаційних систем, дозволяє стверджувати, що автори не акцентували увагу на тому, що похибки зчитування відліків з лічильників координатора є векторіальними, і тому можна стверджувати про зв'язок їх напрямків з напрямком мірної ділянки для вивірення візирного пристрою, а також з похибкою пристрою, який визначає дирекційний кут поздовжньої осі машини за визначеними координатором приростами координат.

Формування мети статті

Метою статті є визначення оптимального з точки зору теорії похибок умовного дирекційного кута напрямку мірної ділянки, обґрунтувавши прийняте для існуючого способу значення 60-00, або визначивши інше значення.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо коротко сутність визначення кута непаральності осі візира до поздовжньої осі машини. Перевірку проводять на мірній ділянці довжиною 1000 м. Встановлюють машину на початковій точці ділянки, вмикають навігаційну апаратуру та готують її до роботи, вважаючи, що дирекційний кут з початкової точки на кінцеву складає 0-00, або 60-00, а прямокутні координати початкової точки дорівнюють нулю. Для визначення дирекційного кута поздовжньої осі машини використовують візирний пристрій, та відомий орієнтирний напрямок з початкової точки на кінцеву 60-00. Після цього здійснюють заїзд на кінцеву точку, і зчитують зміщення машини у поздовжньому та поперечному напрямках, тобто за лічильниками „X” та „У”. Нехтуючи відходом курсового гіроскопа через незначний час заїзду, а також вважаючи, що коефіцієнт коректури шляху визначено і встановлено, можна стверджувати, що за умови правильного визначення візирним пристроєм кута між поздовжньою віссю машини та напрямом на 60-00 на кінцеву точку, на лічильнику „X” буде значення 1000, а на лічильнику „У” – 0. Якщо значення на лічильнику „У” буде відрізнятися від нуля, то за цим значенням можна вирахувати, наприклад, за формулою тисячних, значення кута непаральності осі візира до осі машини

$$\Delta\beta = \delta Y / X \cdot 1000, \quad (1)$$

де δY – відхилення значення за лічильником „У” від нульового; X – значення за лічильником „X”.

Зазначимо, що ця формула є наближеною і справедлива тільки для невеликих (паралактичних) кутів $\Delta\beta$. У загальному випадку обчислення необхідно виконувати через тригонометричні функції, як буде наведено нижче.

Як відомо, усі польові виміри супроводжуються похибками, у тому числі у цьому випадку похибками зчитування значень з лічильників „X” та „У”. Оскільки значення, що зчитуються, відрізняються на два порядки, тобто за лічильником „X” – сотні метрів, а за лічильником „У” – одиниці метрів, то, очевидно, і вплив похибок зчитування з лічильника „X” та лічильника „У” буде різним. У зв'язку з цим може виникнути питання про оптимальність вибору умовного

дирекційного кута 60-00, або у більш загальному випадку дирекційного кута напрямку, що збігається з однією з осей координат. Чи можемо ми мінімізувати вплив похибок зчитування відліків з лічильників „X” та „Y”, прийнявши умовний дирекційний кут напрямку ділянки для вивірення 7-50, тобто вирівнявши вплив зчитування відліків з лічильників „X” та „Y”?

Відповідно до зробленого вище припущення-гіпотези, значну частину похибки визначення кута непаралельності осі візира до поздовжньої осі машини складає похибка зчитування відліку за лічильником „Y”, у той же час похибка зчитування відліку за лічильником „X” практично не впливає на сумарну точність визначення кута непаралельності. Водночас, очевидно, що при зміні дирекційного кута на 15-00 навпаки, похибка зчитування відліку за лічильником „X” складатиме визначальну частку у загальній похибці, а похибка зчитування відліку за лічильником „Y” фактично не матиме впливу. З вищезазначеного можна зробити припущення, що вибором певного умовного дирекційного кута напрямку з початкової точки на кінцеву при проведенні вивірення візирного пристрою можна збалансувати вплив похибок зчитування відліків з лічильників і таким чином мінімізувати вплив цих похибок на сумарну похибку визначення кута непаралельності осей візира і машини. Як було зазначено вище, формула (1) визначення кута непаралельності фактично є спрощеним частковим випадком загальної формули визначення дирекційного кута осі машини координатним способом. Це справедливо, оскільки фактично кут $\Delta\beta$ непаралельності осі візирного пристрою до поздовжньої осі машини є різницею дирекційного кута осі машини, визначеного за допомогою візирного пристрою $\alpha_{\text{осівіз.}}$ та дирекційного кута осі машини $\alpha_{\text{осікрд.}}$, визначеного координатним способом

$$\Delta\beta = \alpha_{\text{осівіз.}} - \alpha_{\text{осікрд.}}$$

Визначення дирекційного кута осі машини за допомогою візирного пристрою не залежить від вибору умовного дирекційного кута осі машини та від похибок читання відліків лічильників „X” та „Y”, тому зосередимося на похибці визначення дирекційного кута осі машини координатним способом, зокрема на її складових – похибках читання відліків лічильників „X” та „Y”.

Формула визначення дирекційного кута осі машини координатним способом у загальному випадку має вигляд

$$\alpha_{\text{осікрд.}} = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right), \quad (2)$$

де Y – відлік за лічильником „Y”, X – відлік за лічильником „X”.

Визначимо похибку визначення дирекційного кута осі машини координатним способом з урахуванням тільки похибок зчитування відліків. Цей дирекційний кут визначають за формулою (2), що є формулою загального виду (нелінійною). Порядок оцінки похибки функції такого типу розглянуто у [3]. З огляду на це, серединна похибка кута непаралельності буде рівною

$$E_{\Delta\beta} = \sqrt{E_X^2 \left(\frac{\partial(\alpha_{\text{осікрд.}})}{\partial X}\right)^2 + E_Y^2 \left(\frac{\partial(\alpha_{\text{осікрд.}})}{\partial Y}\right)^2}, \quad (3)$$

де E_X – серединна похибка зчитування відліку за лічильником „X”;

E_Y – сумарна серединна похибка зчитування відліку за лічильником „Y”;

$\frac{\partial(\alpha_{\text{осікрд.}})}{\partial X}$ – часткова похідна функції, яка визначає $\alpha_{\text{осікрд.}}$, за змінною X ;

$\frac{\partial(\alpha_{\text{осікрд.}})}{\partial Y}$ – часткова похідна функції, яка визначає $\alpha_{\text{осікрд.}}$, за змінною Y .

Обчислимо часткові похідні функції:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\alpha_{\text{осікрд.}})}{\partial X} &= \left(\tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)\right)'_x = \\ &= \frac{1}{1+\left(\frac{Y}{X}\right)^2} \cdot \left(-\frac{Y}{X^2}\right) = -\frac{Y}{X^2+Y^2}; \\ \frac{\partial(\alpha_{\text{осікрд.}})}{\partial Y} &= \left(\tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)\right)'_y = \frac{1}{1+\left(\frac{Y}{X}\right)^2} \cdot \left(\frac{1}{X}\right) = \frac{1}{X(1+\frac{Y^2}{X^2})}. \end{aligned}$$

Після обчислення значень часткових похідних та відповідних перетворень отримаємо залежність, за якою можна оцінити серединну похибку визначення кута непаралельності осі візира до осі машини

$$\begin{aligned} E_{\Delta\beta} &= \sqrt{E_X^2 \left(-\frac{Y}{X^2+Y^2}\right)^2 + E_Y^2 \left(\frac{1}{X(1+\frac{Y^2}{X^2})}\right)^2} = \\ &= \frac{1}{X(1+\frac{Y^2}{X^2})} \sqrt{E_X^2 \left(\frac{-Y}{X}\right)^2 + E_Y^2}. \quad (4) \end{aligned}$$

Вважаючи, що довжина ділянки складає 1000 м, а серединні похибки читання відліків з лічильників „X” та „Y” є рівними і складають 0,25 м, тобто четверту частину ціни поділки, обчислимо значення серединної похибки визначення кута непаралельності $\Delta\beta$. Обчислення виконаємо для кутів першої чверті через 1-00, рахуючи для цих кутів значення X та Y за формулами прямої геодезичної задачі. В результаті цих обчислень отримано значення 0-00,25 п.к., для усього діапазону дирекційних кутів напрямку ділянки для вивірення.

Оскільки для наведеного вище підходу можна говорити про певну залежність величин X та Y , застосуємо інший підхід до визначення похибки кута непаралельності осі візира до осі машини. Для цього для встановлення залежності похибок визначення дирекційного кута осі машини від помилок визначення значень X та Y продиференціюємо вихідну формулу (2) зв'язку цих величин за аргументами X та Y .

Продиференціювавши формулу (2) за зазначеними аргументами, перейдемо від диференціалів до приростів

$$\Delta\alpha = \frac{1}{1+(\frac{Y}{X})^2} \cdot \frac{\Delta Y \cdot X - \Delta X \cdot Y}{X^2}.$$

Маючи на увазі, що $\tan\alpha = \frac{Y}{X}$, та поділивши чисельник і знаменник другого множника на XY , отримаємо

$$\Delta\alpha = \frac{1}{1+\tan^2\alpha} \left(\frac{\frac{\Delta Y}{Y} - \frac{\Delta X}{X}}{\frac{Y}{X}} \right) = \cos^2\alpha \cdot \tan\alpha \left(\frac{\Delta Y}{Y} - \frac{\Delta X}{X} \right).$$

Після остаточних перетворень отримуємо формулу залежності похибки визначення дирекційного кута осі машини залежно від похибок визначення приростів координат X та Y , а також від умовного дирекційного кута з початкової точки ділянки маршруту на кінцеву

$$\Delta\alpha = \cos\alpha \cdot \sin\alpha \left(\frac{\Delta Y}{Y} - \frac{\Delta X}{X} \right), \quad (5)$$

де α – дирекційний кут поздовжньої осі машини; $\Delta Y, \Delta X$ – похибки визначення приростів координат; Y, X – прирости координат кінцевої точки маршруту вивірення відносно початкової.

Знак „-“ перед другим членом у формулі (5) показує, що при додатній похибці визначення приросту X відповідна складова похибки визначення дирекційного кута від’ємна, і навпаки.

Як видно з формули (2), похибки визначення приростів координат у цій формулі є відносними; крім того, необхідно враховувати, що похибки можуть мати як додатне, так і від’ємне значення.

Обчислимо значення похибки визначення дирекційного кута осі машини координатним способом, приймаючи до уваги тільки похибки зчитування відліків ($\Delta Y, \Delta X$), які складають 0,25 м, довжини мірної ділянки 1000 м, для діапазону дирекційних кутів напрямку маршруту від 0-00 до 15-00 (точніше, від 0-01 до 14-99 для уникнення ділення на нуль), для від’ємних і додатніх значень похибок зчитування координат, і зведемо дані у таблицю.

Таблиця

Обчислені серединні похибки визначення дирекційного кута осі машини координатним способом для різних значень умовних дирекційних кутів напрямку ділянки вивірення візирного пристрою та знаків похибок зчитування координат з лічильників

Дирекційний кут напрямку ділянки, великі п.к.	Приріст X , м	Приріст Y , м	Серединна похибка визначення дирекційного кута осі машини, в залежності від знаку похибок зчитування координат ΔX і ΔY , рад.	
			$\Delta X+$, $\Delta Y+$	$\Delta X-$, $\Delta Y+$
0-01	1000	1,05	0,00025	0,00025
1-00	995	105	0,000222	0,000275
3-00	951	309	0,000161	0,000315
5-00	866	500	9,15E-05	0,000342
7-50	743	669	1,85E-05	0,000353
9-00	588	809	5,53E-05	0,000349
11-00	407	914	0,000127	0,00033
13-00	208	978	0,000193	0,000297
14-99	1,05	1000	0,00025	0,00025

Аналіз табл. показує, що оптимальним значенням дирекційного кута мірної ділянки залишається значення, яке відповідає напрямку однієї з координатних осей, оскільки для значення 7-50 прослідковується максимальне значення похибки визначення кута непаралельності осі візира до осі машини внаслідок похибки читання значень прямокутних координат з координатора.

Отримані результати також свідчать про різну точність визначення дирекційного кута поздовжньої осі машини для інерціальної навігаційної апаратури, яка первинно визначає зміну положення у просторі за допомогою акселерометрів, і за отриманими приростами координат визначає дирекційний кут осі машини.

Це дозволяє зокрема визначити та компенсувати похибку визначення дирекційного кута осі машини (самохідної артилерійської установки) координатним способом при підготовці даних для стрільби наземної артилерії

У зв'язку з цим перспективним напрямком наступних досліджень можна вважати дослідження повної системи похибок, яка супроводжує визначення параметрів налаштування навігаційної апаратури, а також визначення навігаційних параметрів різними типами навігаційної апаратури.

Висновки

Таким чином, проведене теоретичне дослідження та моделювання процесу визначення дирекційного кута осі машини координатним способом підтвердили, що найкращі результати (за умови значної відносної середньої похибки визначення приростів координат через похибку зчитування відліків з лічильників X та Y) досягаються при використанні кута 60-00 як умовного дирекційного кута напрямку ділянки для вивірення візирного пристрою.

Результати дослідження також свідчать про необхідність врахування дирекційного кута осі машини для перспективних зразків навігаційної апаратури, які використовують акселерометри для визначення зміни положення об'єкта у просторі з наступним обчисленням дирекційного кута осі машини за приростами координат.

Список використаної літератури

1. Настанова "Зі стрільби і управління вогнем наземної артилерії (дивізіон, батарея, взвод, гармата)". Київ: РВЦ ЗСУ, 2021. 224 с.
2. Тимчасове керівництво з бойової роботи топогеодезичних підрозділів ракетних військ і артилерії Збройних Сил України. ВКДП 3-(06,07,30)03.01. Київ: РВЦ ЗСУ, 2021. 132 с.
3. Сергієнко Р.В. Спеціальні розділи вищої математики. Частина 1. Обробка геометричних вимірів на площині та на сфері : курс лекцій. Львів: АСВ, 2015. 160 с.
4. Корольов В.М., Сергієнко Р.В. Методика проведення вивірки візирного пристрою фіксуванням положень машини кутомірними приладами, розміщеними на базисі. *Військово-технічний вісник*. Львів: АСВ, 2016. № 15. С. 54-57. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.15.2016.54-57>
5. О.В. Майстренко, М.В. Бурдейний, С.І. Стегура, С.В. Стеців Визначення координат наземних цілей з використанням малогабаритних БпЛА на основі вдосконаленого псевдодальномірного методу. *Військово-технічний збірник*. № 22. 2020 с. 43-47 DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.43-47>
6. Marija Seder, Anđela Jurić, Ana Šelek, Filip Marić. Autonomous navigation of a tracked unmanned ground vehicle. *IFAC PapersOnLine* 55-14. 2022. pp. 120–125. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322010047>
7. Saira Latif, Torbjörn Lindbäck, Håkan Lideskog, Magnus Karlberg. Outdoor Tests of Autonomous Navigation System Based on Two Different Reference Points of PurePursuit Algorithm for 10-ton Articulated Vehicle. *IEEEAccess*. Volume 12, 2024. pp. 8412-8421. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3353616 URL: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1830119/-FULLTEXT01.pdf>
8. Шалигін А.А., Нерубацький В.О., Кудрявцев А.Ф., Александров О.В., і Ситник Ю.Б. Підвищення точності автономної навігації невеликих безпілотних літальних апаратів за рахунок врахування вітру та похибок сенсорів. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 3 (48), 2022. С. 44-50. DOI: 10.30748/nitps.2022.48.05

9. Александров С.С., Александрова Т.С., Моргун Я.Ю. Параметричний синтез цифрового стабілізатора системи курсової стійкості автомобіля-паливозаправника. *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*. № 67(2). 2023. С. 69–91. DOI: 10.34229/2786-6505-2022-2-5

10. Кондіус І.С., Федік Л.Ю., Грудецький Р.Я., Зубовецька Н.Т. Аналіз навігаційних систем автомобілів як систем автоматизації. *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*. № 67(4). 2022. С. 116–125. DOI: 10.34229/2786-6505-2022-4-9

11. Сергієнко Р.В. Оцінка непаралельності візуальної осі візира до динамічної осі машини методом заїзду між двома пунктами геодезичної мережі / *Військово-технічний вісник*. Львів: АСВ, 2013. № 8. С. 77-80. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.8.2013.77-80>

References

1. (2021), "Nastanova "Zi strilby i upravlinna vohnem (division, batarea, vzvod, harmata)" [Guideline "On firing and fire control of ground artillery (division, battery, platoon, gun) "]: Editing and publishing center of the Armed Forces of Ukraine. 224 p. [in Ukrainian]
2. (2021), "Тимчасове керівництво з бойової роботи топогеодезичних підрозділів ракетних військ і артилерії Збройних Сил України" [Temporary guidelines for the combat work of topographic and geodetic units of the rocket troops and artillery of the Armed Forces of Ukraine]. VKDP 3-(06,07,30)03.01. Kyiv: Editing and publishing center of the Armed Forces of Ukraine. 132 p. [in Ukrainian]
3. Serhiienko R.V. "Specialni rozdily vyschoi matematyky. Ch.1. Obrobka heometrychnykh vymiriv na ploschyni i na sferi" [Special topics in higher mathematics. Part 1: Processing of geometric measurements on the plane and on the sphere]: Course of lectures. Lviv: Army Academy, 2015. 160 p. [in Ukrainian]
4. Koroliiov V.M. and Serhienko R.V. (2016), "Metodyka provedennia vyvirky vizyrnoho prystrou fiksuvannam mashyny kutomirnyy prykladamy, rozmischeny na bazysi" [The method of verification of the sighting device by fixing the positions of the machine with angle measuring devices placed on the base], *Military technical collection*, № 15. pp. 54–57. doi: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.15.2016.54-57> [in Ukrainian]
5. Maistrenko O.V., Burdeyniy M.V., Stehura S.I. and Stetsiv S.V. (2020), "Vyznachennia koordynat nazenmyh trsilej z vykorysannam malohabarytnykh BPLA na osnovi udoskonalenooho psevdodalnomirnooho sposobu" [Determination of ground target coordinates using small-sized UAVs based on an improved pseudo-ranging method]. *Military-Technical Collection*. № 22. pp. 43-47. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.43-47> [in Ukrainian]
6. Marija Seder, Anđela Jurić, Ana Šelek and Filip Marić. (2022), Autonomous navigation of a tracked

unmanned ground vehicle. *IFAC Papers OnLine*. № 55-14. pp. 120–125. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322010047>

7. Saira Latif, Torbjörn Lindbäck, Håkan Lideskog and Magnus Karlberg. (2024), Outdoor Tests of Autonomous Navigation System Based on Two Different Reference Points of Pure Pursuit Algorithm for 10-ton Articulated Vehicle. *IEEE Access*. Volume 12. pp. 8412-8421. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3353616 <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1830119/FULLTEXT01.pdf>

8. Shalygin A.A., Nerubatskyi V.O., Kudriavtsev A.F., Aleksandrov O.V. and Sytnyk Y.B. (2022), "Pidvyschenna tochnosti avtonomnoi navihatsii nevelykyh bezpilotnyh aparativ za rakkhunok vrahuvannia vitry I pokhybok sensoriv" [Improving the accuracy of autonomous navigation of small unmanned aerial vehicles by taking into account wind and sensor errors], *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, № 3 (48), pp. 44-50. [in Ukrainian]

9. Aleksandrov E.E., Aleksandrova T.E. and Morgun Y.Y. (2023), "Parametrychni syntez tsyvrovoho stabilizatora systemy kursovoi stijkosti avtomobila-

palyvozapravnyka" [Parametric synthesis of the digital stabilizer of the vehicle-fueler stability system], *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*, № 67(2), pp. 69–91. DOI: 10.34229/2786-6505-2022-2-5 [in Ukrainian]

10. Kondius I.S., Fedik L.Y., Grudetskyi R.Y. and Zubovetska N.T. (2022), "Analiz navihatsijnyh system avtomobiliv yak system avtomatyzatsii" [Analysis of car navigation systems as automation systems], *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*, № 67(4), pp. 116–125. DOI: 10.34229/2786-6505-2022-4-9 [in Ukrainian]

11. Serhiienko R.V. "Otsinka neparalelnosti vizuvalnoi osi vizyra do dynamichnoi osi mashyny motodom zaizdy mizh dvoma punktamy geodezichnoi merezhi" [Evaluation of non-parallelism of the visual axis of the sighting device to the dynamic axis of the machine by the method of driving between two points of the geodetic network]. *Military-Technical Collection*. Lviv: NAA, 2013. pp. 77-80. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.8.2013.77-80> [in Ukrainian]

THE DETERMINING OF THE ORIGINAL VIRTUAL GRID AZIMUTH VALUE OF THE CHECK STRIP FOR THE SIGHTING DEVICE VERIFICATION

R. Serhiienko, P. Perii

Autonomous navigation equipment, which is independent of the receiving of navigation satellite constellation signals, plays a significant role in surveying and navigation as a necessary alternative for satellite and pseudo-satellite navigation systems. This paper investigates the errors in determining the initial grid azimuth of the vehicle's center line during sighting device verification and assesses their impact on the accuracy of data preparation for ground artillery firing. A sighting device is a necessary functional device for determining the grid azimuth of the center line of a vehicle and angle transmitting using the heading reference system of navigation equipment. The result of the verification of the sighting device is the determination of the angle of non-parallelism of the optical axis of this sighting device to the center line of the machine, which is carried out on the special check strip. The paper proves that the choice of the virtual grid azimuth of the 60-00 check strip is optimal in terms of minimizing the influence of errors in reading the coordinator countings, which in turn are used to verify the sighting device. Two approaches were used to estimate the error of the grid azimuth of the center line of the machine, and their results coincided. The necessity of taking into account the value of the grid azimuth of the center line of the machine for types of autonomous navigation equipment that use accelerometers to determine the position of the machine and the subsequent computation of the grid azimuth of the center line of the machine is also substantiated. The conclusion was made about the dependence of the error in determining the grid azimuth of the center line of the machine on this angle.

Keywords: sighting device, grid azimuth of the machine's center line, reading error, navigation equipment, preparation of data for firing ground artillery.