

FACTORS CHARACTERIZING THE ACCURACY IN DETERMINING THE ORIENTED DIRECTIONS

HRISTO A. DESEV

*National Military University "V. Levski", Artillery, "Air Defense and CIS" Faculty
Shumen, "K. Scorpil" str. № 1*

Abstract: *The use of different methods for determining the directional angles of the required directions is a key element of the essence of the topographic connection of the battle lines of the artillery formations. The use of different methods makes it possible to solve these tasks regardless of the specific situation and time. The various methods are fraught with errors that are essential to the overall accuracy of topographic activities in the combat use of artillery. Research proves that in the final errors in the topographic preparation, the share of the error from the orientation of the instruments is predominant and changes for each new goal or firing position. Among the methods for determining the indicative directions, the most frequently applied and meeting the modern requirements for accuracy are the gyroscopic, astronomical and with the magnetic arrow of the compass.*

Key words: *errors in the topographic preparation, indicative directions, gyroscopic, astronomical.*

ФАКТОРИ, ХАРАКТЕРИЗИРАЩИ ТОЧНОСТТА ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕТО НА ОРИЕНТИРНИТЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Христо А. Десев

Използването на различни методи за определяне на дирекционните ъгли на ориентирните направления е основен елемент на същността на топогеодезичното привързване на бойните редове на артилерийските формирования. [1] Употребата на различните методи дава възможност за решаването на тези задачи независимо от конкретната обстановка и време. Различните методи са натоварени с грешки, които са съществени за цялостната точност на топогеодезичните дейности при бойното използване на артилерията. Изследванията доказват, че в крайните грешки в топогеодезичната подготовка дела на грешката от ориентирането на приборите е преобладаваща и променяща се за всяка нова цел или огнева позиция. Сред методите за определяне на ориентирните направления най-често прилагани и отговарящи на съвременните изисквания за точност са жирокопическия, астрономическия и с магнитната стрелка на бусолята.

Жирокопическото ориентиране се заключава в определянето на дирекционния ъгъл на ориентирното направление чрез автомеханични средства посредством наблюдението на точките на реверсия на прибори (жирокомпаси, жиротеодолити) и преминаването от истински азимут към дирекционен ъгъл на едно и също направление.

Грешките в метода на жирокопическото ориентиране се определят от срединната грешка на посоката на дирекционния ъгъл изчислена по формулата (1)

$$E_{\alpha} = \sqrt{E_{\text{Ажир}}^2 + E_{\Delta\text{Ажир}}^2 + E_{\text{нест.}}^2 + E_{\gamma}^2} \quad (1)$$

където:

$E_{\text{Ажир}}$ е срединната грешка на определяне на азимута на ориентирното направление;

- $E_{\Delta Ажир}$ е грешката на определяне на поправката на жирокомпаса;
- $E_{нест.}$ е грешка от нестабилност на поправката на жирокомпаса (географска ширина, ускорението на отвеса и др.)
- E_{γ} е грешката за определяне на меридианното сближение.

Основният компонент в общата грешка на ориентирането с помощта на жирокомпаса е грешката при определяне на жирокопичния азимут. Тази грешка се дължи на много причини, включително:

- остатъчно триене по вертикалната ос на торсиона;
- нестабилност на кинетичния момент на жирокопа;
- влиянието на електромагнитните полета;
- отклонение на проектните параметри от посочената геометрична схема на устройството;
- грешки при наблюдение на забележителност или отчитане на забележителност;
- грешки при фиксиране на позицията на точките за обръщане и вземане на показания от тях.

Грешките при определяне на жирокопичния азимут се влияят в една или друга степен от количеството на точките на реверсия, наблюдавани и приети за обработка.

В махаловия жирокоп затихването на трептенията на чувствителния елемент практически липсва. За такъв жирокомпас зависимостта на средната грешка в жирокопичния азимут от броя точки на реверсия, получени за обработка, се изразява по формулата(2)

$$E_{Ажир} = \frac{E_p}{n} \quad (2)$$

където:

- E_p – срединна грешка от определяне положението на точката на реверсия;
- n – брой на измерванията.

Изчисленията показват, че ползата от увеличаване на точността на определяне на жирокопичния азимут от увеличаване на броя на точките на реверсия за жирокомпасите е незначителна и възлиза на няколко секунди или стотни от делението. Следователно увеличаването на броя точки на реверсия повече от две за жирокомпасите трябва да се разглежда само като мярка за подобряване на надеждността на резултатите.

Изразът за средната грешка при определяне на корекцията на жирокомпаса може да бъде записан като:

$$E_{\Delta Ажир.} = \sqrt{E_{ет}^2 + \frac{E_{Ажир}^2}{m}} \quad (3)$$

където:

- $E_{ет}$ – срединна грешка в определяне на еталонното направление;
- $E_{\Delta Ажир}$ - срединна грешка в определяне на жирокопичният азимут за един „пуск“;
- m – брой на независимите пускове.

Корекцията на жирокомпаса се определя по правило чрез шест независими старта т.е. $m=6$. От съображения за осигуряване на приблизително еднакво влияние върху грешката на корекцията на жирокомпаса, както грешки при определяне на средната стойност на жирокопичния азимут на референтната посока, така и грешки в истинския азимут на тази посока, референтната посока трябва да бъде избрана така, че да е изпълнено условието:

$$E_{ет} \leq E_{Ажир} \quad (4)$$

като $E_{Ажир}$ – срединна грешка на жирокопичния азимут.

Изчисленията, извършени според зависимостта (3), показват, че при правилната организация на работата по подравняването на жирокомпаса грешката при определяне на корекцията на жирокомпаса по отношение на неговата стойност е почти половината от грешката при определяне на жирокопичния азимут при един пуск.

Средната грешка при определяне на меридианното сближение е

$$E_{\gamma} = \sin B \cdot E_l \quad (5)$$

като: E_l – е срединната грешка на определяне на географската дължина на мястото на „пуска“

Географската дължина на точката за наблюдение се определя от картата. Съществуващите правила позволяват географската ширина и дължина да бъдат закръглени с точност до $0,5'$ ($30''$). При това закръгляване средната грешка при определяне на геодезическите координати ще бъде $0,125'$ ($7,5''$). Посочената стойност на средната грешка при определяне на географска ширина и дължина съответства на: по „N“ е 230 m, и по координатата „E“ е 80 m. при 70° географска ширина на С намаляване на ширината тази стойност се увеличава до 230 m (на Екватора). Следователно, по отношение на точността на определяне на правоъгълни координати, посочените стойности на грешки в геодезическите координати се осигуряват по време на привързването дори чрез окомерни скици.

Влиянието на грешката в географска дължина върху грешката при определяне на меридианното сближение е толкова по-значимо, колкото по-голяма е географската ширина на работната зона. Жирокомпасите се използват за ориентация на ширини до 70° , ако заместим съответните стойности във формула (5), получаваме стойност, равна на $7''$ ($0,11'$), следователно влиянието на грешката при определяне на подхода на меридианите върху нарастването на грешката при определяне на посоката на ъгъла на референтната посока в сравнение с грешката в жирокомпасния азимут на тази посока може да бъде пренебрегвано.

Способът на астрономичното ориентиране се състои в преминаване от азимута на направлението към небесното светило (Слънцето или звезда) към истинския азимут, а след това и към дирекционния ъгъл на направлението към ориентираната точка.

Грешки в астрономическия способ на ориентация

Средната грешка при определяне на дирекционния ъгъл на ориентираното направление астрономически може да се изчисли по формулата(6)

$$E_{\alpha} = \sqrt{E_{\alpha}^2 + E_{\beta}^2 + E_{\gamma}^2} \quad (6)$$

където: E_{α} – срединната грешка на определяне на азимута на светилото;

E_{β} - срединната грешка на измерения хоризонтален ъгъл между светилото и ориентираното направление;

E_{γ} - срединната грешка на определяне на меридианното сближение.

Грешката при измерване на ъгъла между посоката към ориентира и към светилото зависи от вида на използваното средство за измерване на ъгъла и спазването на правилата на мерене и се характеризира със следните средни грешки: $0,15' \dots 0,20'$ - за теодолити и $0,3$ ъгломерни деления за бусоля.

Сближението на меридианите по време на астрономическа ориентация се определя в съответствие с разглежданите препоръки. Средната грешка при определяне на конвергенцията на меридианите няма да надвишава $0,11'$, тоест тя също ще бъде относително малка.

Основният компонент на общата грешка на астрономическото ориентиране е грешката при определяне на азимута на светилото, тогава средната грешка при определяне на азимута на звездата е:

$$E_{\alpha} = \sqrt{E_t^2 K_t^2 + E_B^2 K_B^2 + E_{\delta}^2 K_{\delta}^2} \quad (7)$$

където: - E_t , E_B , E_{δ} са срединни грешки в определянето на часовия ъгъл на светилото, географската ширина на мястото и деклинацията на светилото;

- K_t, K_B, K_{δ} – коефициенти.

Стойността на коефициента за почти всички небесни тела и по всяко време на деня е по-малка от 1. Географската ширина на работната зона се определя с помощта на карта и се закръглява до $0,5'$. При това закръгляване средната грешка при определяне на географската ширина ще зависи главно от грешките в закръгляването и ще бъде $0,125$. В този случай грешката при определяне на

географската ширина се включва в грешката при определяне на азимута на звездата с коефициент по-малък от 1, следователно нейното влияние върху общата грешка на астрономическата ориентация може да бъде пренебрегнато.

Деклинацията на светилата се определя от Сборника с астрономически таблици. Посочения сборник се съставя така, че да ограничаващата грешка при определяне на деклинацията в даден момент така, че да не надвишава $0,2'$, което съответства на средна грешка от $0,05'$.

Следователно, дори в условия, когато коефициентът достигне максималната си стойност (равна на 2 - 3), средната грешка в азимута на светилото, поради грешки при определяне на деклинацията, няма да надвишава $0,10 - 0,15'$. Грешката при фиксиране на времето за наблюдение на звездата няма практически ефект върху грешката при определяне на деклинацията. Деклинацията на небесните тела се променя слабо. Максималната скорост на промяна на деклинацията настъпва за Слънцето, но не надвишава $1'$ на 1 час. Следователно, за да се определи деклинацията с грешки, които не надвишават грешките в колекцията от таблици ($0,2'$), е достатъчно да се знае времето на наблюдение на Слънцето с грешка до 10 - 12 минути.

Грешката при определяне на часовия ъгъл се състои от грешки при определяне на времето за наблюдение, грешки в географската дължина на точката на наблюдение, както и грешки в таблицата на часовите ъгли и деклинацията на Слънцето (от метода за определяне на посоката на ъгъла на Слънцето през коефициента на годината).

Средната грешка при определяне на географската дължина от картата, дори като се вземе предвид нейното закръгляване до $0,5'$, не надвишава $0,125'$. Средната грешка на таблиците е $0,05'$. Разглежданите грешки са малки в сравнение с основния компонент-грешката при определяне на времето за наблюдение на звездата. Тази грешка се състои от грешки при отчитане по часовниците, грешки при определяне на корекции на часовника и грешки в часовника. От тези компоненти последните два ще бъдат най-значимите и повтарящи се (систематични) и следователно не могат да бъдат изключени чрез увеличаване на методите за наблюдение на звездата.

Грешката във времето за наблюдение е свързана с грешката при определяне на часовия ъгъл по известните съотношения: $1 s = 15''$; $1 \text{ минута} = 15'$.

Като се вземат предвид тези взаимоотношения, средните грешки при определяне на азимута на Слънцето и Полярната звезда, причинени от грешки във времето на наблюдение, са изчислени за най-лошите условия на ориентация. Резултатите от изчисленията са обобщени в таблици 1 и 2.

Таблица 1

Пределна грешка в определяне на времето за наблюдение в (сек)	Срединни грешки		
	Време на наблюдение (сек)	Часов ъгъл в (мин.)	В азимута на светлото в (мин)
2	0,5	0,15	0,3
5	1,25	0,3	0,6
10	2,5	0,6	1,3
15	3,75	1,0	1,9
20	5	1,2	2,4
25	6,25	1,6	3,2
30	7,5	1,9	3,8

Таблица 1 – Средната грешка при определяне на азимута на Слънцето

От таблица 1 следва, че за определяне на азимута на Слънцето със средна грешка не по-голяма от $1'$, ограничителната грешка при фиксиране на времето за наблюдение не трябва да надвишава 5 - 7 s. За да се определи азимутът на Слънцето със средна грешка от 0-01, грешката при фиксиране на времето за наблюдение може да достигне 25 s.

Таблица 2

Пределна грешка в определяне на времето за наблюдение в (сек)	Срединни грешки		
	Време на наблюдение (сек)	Време на наблюдение (сек)	Време на наблюдение (сек)
1	0,25	3,8	0,2
2	0,5	7,5	0,4
5	1,25	18,8	0,9
10	2,5	37,5	1,9
15	3,75	56,2	2,8
20	5,0	75,0	3,75

Таблица 2 – Средната грешка при определяне на азимута на Полярната звезда

Съгласно таблица 2 могат да се направят следните заключения:

1. За определяне на азимута на Полярната звезда със средна грешка 1' ограничителната грешка при фиксиране на времето за наблюдение не трябва да надвишава 5 минути;
2. За да се определи азимутът на Полярната звезда със средна грешка от 0-01, ограничителната грешка във времето на наблюдение може да достигне 15 - 18 минути.

Определянето на дирекционните ъгли с помощта на магнитната стрелка се основава на свойствата на земния магнетизъм. То се заключава в това, че свободно окачената магнитна стрелка се ориентира по посоката на магнитните силови линии на Земята. Това означава, че с магнитна стрелка може на местността да се обозначи положението на магнитния меридиан.

Средната грешка при определяне на посоката на ъгъла на референтната посока с помощта на стрелката на магнитния компас може да бъде изчислена по формулата (8)

$$E_{\infty} = E_{AM}^2 + E_{\Delta AM}^2 + E_{\delta(t)}^2 + E_{\gamma}^2 + E_{\delta(R)}^2 \quad (8)$$

където: E_{AM} – е срединната грешка в определяне на магнитния азимут;

$E_{\Delta AM}$ – е срединната грешка в определяне на поправката на бусолята;

E_{γ} - е срединната грешка в определяне на меридианното сближение;

$E_{\delta(t)}$ - е срединната грешка в определяне на магнитното отклонение за момента на определяне на поправката на бусолята ;

$E_{\delta(R)}$ - е срединната грешка в определяне на магнитното отклонение за момента на определяне магнитния азимут.

Към отделните компоненти на грешката може да се приложи следния анализ.

Грешки при определяне на дирекционните ъгли с помощта на стрелка с магнитен компас

Грешката при определяне на магнитния азимут се състои от грешки при подравняването на краищата на магнитната игла с индекса, грешки при наблюдение към ориентира и грешки при отчитане.

Основният компонент в грешката при определяне на магнитния азимут е грешката при подравняването на краищата на магнитната игла с индексите. Наблюдателят контролира това подравняване визуално. Точността на подравняването е ограничена от разделителната способност на окото и се характеризира със средна грешка от 1'.

Наблюдателят извършва операции за подравняване на краищата на магнитната игла с индекса, наблюдавайки това подравняване от разстояние 30-35 см. От посоченото разстояние под ъгъл 1', той все още ще може да различи несъосността с 0,1 мм. Дължината на магнитната игла е 10 см. Разминаването на края на магнитната игла с индекс, равен на 0,1 mm, при такива размери на стрелката, ще съответства на ъгловото отклонение на стрелката, равно на 0-02. Тъй като наблюдателят наблюдава подравняването на не един, а двата края на магнитната игла, ъгловата грешка

намалява. Следователно, стойността 0-01.5 може да бъде взета за ъгловата средна грешка при подравняване на краищата на стрелката с индексите.

Средната грешка на наблюдението върху ориентира с шесткратно увеличение на зрителната тръба на бусолята е 8". Средната грешка при отчитане по бусолния кръг като грешка при закръгляване е 0,25 ъгломерни деления. Поради тяхната нищожност влиянието на грешките при наблюдение и четене върху увеличаването на грешката при определяне на магнитния азимут може да бъде пренебрегнато, а средната грешка при определяне на този азимут може да се приеме равна на средната грешка при подравняване на краищата на магнитната игла с индекси, т.е. 0-01,5 фактът, че посочената стойност на средната грешка при определяне на магнитния азимут съответства на много висока точност на линейно подравняване на краищата на магнитната игла с индексите (разместването е не повече от 0,1 mm), което трябва да се осигури в практическата работа по ориентиране с помощта на магнитната игла.

Грешката при определяне на поправката на бусолята зависи от грешките при определяне на дирекционния ъгъл на еталонната посока и магнитния азимут, както и от броя на приомите при определяне на магнитния азимут на референтната посока. Средната грешка при определяне на тази корекция може да бъде изчислена по формулата

$$E_{\alpha} = \sqrt{E_{\alpha 0}^2 + \frac{E_{Am}^2}{n}} \quad (9)$$

Като: n – е броя на приомите при определяне на магнитния азимут;
 $E_{\alpha 0}$ – е грешка в еталонното направление.

Като еталонна посока при проверка на бусолята се използват направления, чийто дирекционен ъгъл се определя с помощта на жирокомпас или от геодезическа мрежа. Средната грешка при определяне на референтната посока при тези условия няма да надвишава 0-00,5.

За определяне на магнитният азимут на референтната посока трябва да се определя като средната стойност от най-малко четири приома ($n = 4$). Замествайки съответните стойности във формула (9), получаваме средната грешка при определяне на корекцията на компаса в точката на неговото подравняване, равна на приблизително 0 01.

Средната грешка, причинена от пренебрегването на меридианната конвергенция, когато се движи в радиус от 10 км, достига 0-02,1 ... 0-02,6 при навигация по географски ширини до 65° - 70°.

Разглеждайки въпроса за грешките в ориентирането с магнитната стрелка на бусолята, причинени от промяна в магнитната деклинация във времето от момента на определяне на поправката и до момента на определяне на ориентираното направление, можем да се ограничим до анализ само на дневната промяна в магнитната деклинация. Вековната и годишна промяна в магнитната деклинация могат да бъдат пренебрегнати, тъй като интервалите от време от определянето на корекцията до момента на ориентация по правило ще бъдат относително малки. Проучванията установяват, че дневната промяна в магнитната деклинация по правило е хармонична, но може да има „пикове“ от импулсивен тип. Амплитудата и фазата на дневното изменение на магнитната деклинация са нестабилни и могат да варират в широки граници. Следователно опитите да се вземе предвид такава промяна не дават забележим положителен ефект. Неспазването на дневната промяна в магнитната деклинация води до появата на грешки в ориентацията по магнитната стрелка до 0-04 и повече. Средната грешка, причинена от това пренебрежение, може да се приеме равна на 0-01.

Промяната в магнитната деклинация по време на движение се дължи на нехомогенността на магнитното поле на Земята.

Ориентирането чрез магнитната стрелка на бусолята е възможно в области, където промяната в магнитната деклинация с 10 km (градиента на магнитната деклинация) не надвишава 0-10. Това ограничение съответства на средната грешка в ориентацията поради промяна в магнитната деклинация от 0-02,5.

След като определихме всички компоненти, използвайки зависимост (8), установихме, че средната грешка на ориентация по магнитната стрелка на компаса в радиус от 10 км от точката на определяне на корекцията на компаса е 0-04.

Ефективно повишаване на точността на ориентация с помощта на магнитна стрелка може да се постигне чрез значително намаляване на зоната на използване на бусолята.

Ако бусолята или нейната поправка се определя във всяка зона на топогеодезическа работа, тогава зоната на поправката на бусолята няма да надвишава 3 км. Средната грешка, причинена от несъобразяване с промяната в конвергенцията на меридианите и промяната в магнитната деклинация от изместването, ще намалее с около 3,3 пъти и ще бъде 0 00,8 всяка. Освен това определянето на ориентирните направления да се извършва възможно най-скоро до момента на определяне на поправката (или нейната промяна), тогава влиянието на дневната промяна в магнитната деклинация върху точността на ориентация може да бъде пренебрегнато. Ако тези условия са изпълнени, средната грешка в ориентацията с помощта на магнитната игла, изчислена по формула (9), ще бъде приблизително 0-02.

Трябва да заключим, че реалните стойности на средните грешки няма да надвишават изчислените (0-04 в радиус от 10 км и 0-02 в радиус от 3 км), ако ориентацията по магнитната стрелка не се извършва в области с градиент на магнитното отклонение над 0-10. Освен това ориентацията по разглеждания метод не трябва да се извършва в зоните на магнитни аномалии, както и по време на периоди на магнитни бури и магнитни смущения.

Разгледаните източници за формиране на грешки в определянето на ориентирните направления разгледани в настоящото изложение показват, че основните способности отговарят на изискванията за точност на насочване на приборите. Утвърдените модели на работа позволяват да се постигне необходимия краен резултат, при спазване на нормите, които бяха. Тези норми следва да се прилагат и нормират при изготвяне на съвременните регламентиращи документи за работата на топогеодезическите подразделения.

References:

1. Ръководство за бойна работа на топогеодезическите подразделения на ракетните войски и артилерията на сухопътните войски. – ВИ, София, 1987 г.
2. Стандартизационно споразумение - STANAG 2934.
3. „Доктрина за геопространствено осигуряване“, С 2014г.
4. Наредба № Н-7 от 20 май 2014 г. за Държавната Геодезическа Мрежа.
5. Курс за стрелба и управление на огъня на– част I, МО, С, 1998