



Получена: 10.03.2021 г.

Приета: 14.04.2021 г.

ГНСС ИЗМЕРВАНИЯ ЗА НУЖДИТЕ НА ПРЕЦИЗНИ ВИСОЧИННИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ В Р БЪЛГАРИЯ

Ю. Цановски¹

Ключови думи: ГНСС, геометрична нивелация, методика

РЕЗЮМЕ

Статията засяга въпроси, свързани с реализирането на съпътстващи високоточни ГНСС измервания, свързани с обнародваната „Инструкция № РД-02-20-1 от 15 януари 2021 г. за създаване и поддържане на Държавната нивелачна мрежа“ [1]. Значимостта на ГНСС определенията и обосновката им от гледна точка на точност са пряко свързани с реализацията и разпространението на всяка височинна референтна система. Предлага се обоснована методика за извършване на ГНСС измервания, осигуряваща необходимата точност както за научни, така и за научно-приложни изследвания.

1. Въведение

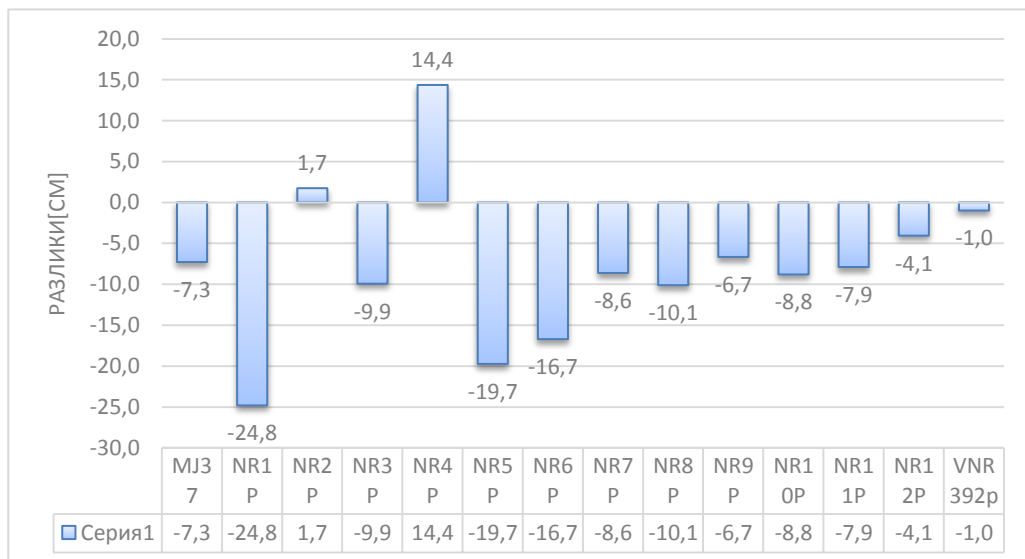
Значимостта на ГНСС определенията за реализацията и разпространението на височинната референтна система се обуславя от необходимостта от набиране на данни с пределна точност. Третата конвенция от дефиницията на EVRS определя теоретичната еквивалентност на нормалните височини с геопотенциалните коти при условие, че референтното гравитационно поле е указано. За да бъдем коректни докрай, от съществено значение са точностите при определянето на нормалните превишения, които в частност се влияят от съпътстващите измервания – в случая определените геодезически ширина и височина. Като се използват ГНСС измервания и се привързват реперите от Държавната нивелачна мрежа към Държавната GPS мрежа, която се явява основен носител на БГС2005, всъщност се задават необходимите параметри за въвеждане на нормално гравитационно поле (GRS80).

¹ Юри Цановски, доц. д-р инж., кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tzanovski_fgs@uacg.bg

Следва да се отчете и фактът, че съгласно точка 5 от Резолюция 1 на IAG, във връзка с дефинирането и реализацията на Международна височинна референтна система (IHRС), пространственото положение на мястото на точката, за която се определя геопотенциалната кота, се определя в Международна земна референтна система. Привързвайки реперите от Държавната нивелачна мрежа към Държавната GPS мрежа, по същество ги определяме в ETRS89, ETRF2000, епоха 2005.

2. Необходимост от прецизиране на условията за провеждане на съпътстващи ГНСС измервания в приетата инструкция

В „Инструкция № РД-02-20-1 от 15 януари 2021 г. за създаване и поддържане на Държавната нивелачна мрежа“ съпътстващите ГНСС измервания са споменати в Раздел IV, глава седма и по-точно в чл. 86, алинеи от 1 до 5. Предвид насочеността на Инструкцията, логично е направена препратка към „Инструкция № РД-02-20-25 от 20 септември 2011 г. за определяне на геодезически точки с помощта на Глобални навигационни спътникови системи (ГНСС)“ [2], която, видно от заглавието, указва реда и начините за прилагане на ГНСС технологията. Обърнато е внимание обаче само на частта засегната в глава 4, Раздел II, а именно „Работна геодезическа основа“, като следва да се отчете и фактът, че изрично е споменато „...не се допуска използването на виртуални базови станции“. Съществуват множество публикации свързани с получаваната точност с приложени мрежови продукти тип VRS (Виртуална база в реално време). На фиг. 1 е онаягледена разликата в изчислените геодезически височини, получена от прилагането на статичен метод с базови станции и VRS по координирани реperi от нивелачен ход.



Фиг. 1. Разлики в определените геодезически височини по реperi от нивелачен ход (по абсциса са нанесени номерата на реперите; по ордината са отчетените разлики в дименсия см)

С оглед на отговорността и покриването на установени критерии при ГНСС измервания за настоящите цели следва да се приложи друга част от Инструкцията за прилагане на ГНСС, а именно Глава четвърта, Приложение на ГНСС, Раздел I. Геодезически

мрежи с местно предназначение. Зададените параметри и методи за измерване осигуряват пределна точност при координиране на реперите по нивелачна линия, а именно съгласно чл. 29, ал. 1, точка 3в и 3г – средна квадратна грешка по положение – до 20 mm и по височина до 50 mm.

3. Предпоставки за осигуряване на изискваната точност

3.1. Относно местоположение (B, L)

Данни за геодезическите координати на реперите от ДНМ са необходими във връзка с определянето на гравиметричните корекции към измерените превишения от прецизна нивелация.

За изчисляването на нормалната сила на тежестта върху елипсоида, както и на нейната средноинтегрална стойност, може да се твърди, че е необходима точност в геодезическата ширина от порядъка на 0,1" [4, 5], а координатната система задължително е ETRS89, т.е. напълно достатъчно е реперът да е определен относително спрямо точки от Държавната GPS мрежа.

Познаването на точното местоположение на точките от ДНМ е необходимо и във връзка с интерполирането на гравиметрични данни от глобални, регионални и локални модели на гравитационното поле: гравиметрични – необходими при прецизни нивелачни определения [9]; данни за аномалията на височината – при сравнение и анализ на Глобални геопотенциални модели (ГГМ) с данни от ГНСС/нивелация; при сравнение и анализ на резултати от изведен гравиметричен геоид с данни от ГНСС/нивелация.

3.2. Относно определяне на геодезическата височина (H)

През 2003 година Държавната нивелация I клас е привързана към EUVN (European Vertical Reference Network) чрез първата ѝ реализация EVRF2000. Задача на EUVN е създаване на хомогенна и унифицирана, **кинематична** височинна система за територията на Европа. Според Резолюция 2 от EUREF (Хелзинки 1995 г.) EUVN се дефинира като част от EUREF (БГС 2005 също е част от EUREF) с допълнени точки от основни нивелачни репери и мареографни станции. Това е мрежа от перманентни ГНСС станции в рамките на EUREF (EPN – Euref Permanent Network), GPS станции в близост до мареографни станции, **GPS точки, съвпадащи с възлови репери**. Работна група към EUREF през 1999 година указва насоките за по-нататъшното развитие на височинната система EVRS [8]. Групата е изследвала 80 перманентни станции от EPN, като установява денонощна повтораемост на вертикалната компонента в рамките на 7 – 9 mm. Предвид задачата на EUVN да бъде кинематична вертикална система, тези резултати са обнадеждаващи. Това на практика означава, че за 3-годишен период на наблюдения би могло да се отчетат вертикални движения с точност:

$$m_{v_h} = \frac{m_h \sqrt{2}}{\sqrt{365}} = \pm 0,5 \text{ mm/y.} \quad (1)$$

От своя страна това означава, че за 3-годишен период на GNSS наблюдение би могло да бъде отчетено преместване от 1 mm/y.

От друга страна прецизната геометрична нивелация би могла да отчете вертикално движение с точност:

$$m_{v_h} = \pm 0,07 \text{ mm.km}^{-1/2}/\text{y} . \quad (2)$$

При повторяемост на цикличните нивелачни измервания през 20 години, би могло да се заложи на постигане на необходимите точности чрез ГНСС наблюдения, особено за големи нивелачни ходове (около 200 km) и да се твърди, че комбинацията от геометрична нивелация и ГНСС определения е гаранция за създаването на стабилна кинематична вертикална референтна система.

Като се отчитат възможностите на съвременните геодезически приемници и фактът, че БГС2005 чрез реализацията си от I и II клас GPS мрежа е „статична“ (точността на GPS точките във височинно отношение за I клас е 10 mm, II клас е 15 mm), се **предлага** определянето на геодезичните височини на реперите да бъде с точност до **20 mm**. Следва да направим уточнението, че е необходимо извеждането на актуални скорости на точките от Държавната GPS мрежа с оглед коректното отнасяне към Земната координатна система, а именно ETRS89, ETRF2000, епоха 2005.

За сравнение, предлаганата точност в обнародваната инструкция е **50 mm**, постигана относително спрямо изходните данни. Тъй като за изходни точки при определяне на геодезическите височини на реперите ще се използват точки от GPS мрежата, както и перманентни станции от сертифицирани инфраструктурни мрежи, които ще бъдат приети за „фиксиращи“ при обработката и предвид средната гъстота от 7 km между точките, логично ще е относителната точност на геодезическите височини да бъде до **20 mm**.

Тази точност би осигурила определянето на височинното преместване на реперите, за период от 20 години (периода, заложен при преизмерване на нивелачната мрежа). Ако отчетем изведените скорости между цикли III и II (в интервала от -5,2 до +1,6 mm/y), теоретично необходимата абсолютна точност на височинните GNSS определения за установяване на вертикални премествания от този порядък е:

$$m_{H_i} = \frac{\Delta H^{\text{CP}}}{t\sqrt{2}} \approx 24 \text{ mm}, \quad (3)$$

където t е параметър на разпределението на Стюдънт.

Освен за реализиране на кинематична височинна референтна система на територията на страната, прецизни височинни ГНСС определения са необходими при извеждането на модел на геоида, съответно квазигеоида, по метода на ГНСС/нивелация, с възможно най-висока точност. Значението на един такъв прецизен модел за определяне на геоида се състои в това, че на практика той се явява единствено възможен и независим модел, служещ за съпоставянето и оценяването на изведен гравиметричен модел на геоида/квазигеоида.

Друг възможен подход за получаване на модел на геоида/квазигеоида, съпоставим по точност с ГНСС/нивелацията, даващ възможност за валидиране на гравиметричния геоид, е комбинирането на ГНСС измервания с данни от измервания от оптични часовници [3].

Може да се обобщи, че използването на т. нар. директен подход при решаването на граничната задача [7] (граничната повърхнина е известна – определена с ГНСС) намира все по-широко приложение, както в релативистичната геодезия [3], така и в съвременната физическа геодезия [6].

От друга страна и не на последно място прецизните височинни ГНСС определения се явяват основополагащи при съпоставянето и унифицирането на национални/локални и регионални модели на геоида [10].

Съчетанието на прецизни ГНСС и нивелачни определения могат да послужат за взаимен контрол – откриване на груби грешки по нивелачните линии, проблеми в ГНСС решението и др.

4. Методика за извършване на ГНСС измервания

Измерванията се осъществяват в статичен режим с осигуряване на **независими/полузависими** пространствени вектори за последваща обработка, с регистрация на сигнали през 5 s и минимален ъгъл над хоризонта 10 градуса.

Станционирането по реперите се осъществява с шокове с калибрирана дължина (примерно 2 метра, което се явява и височина на антената до ARP), закрепени с tri- и b-поди за по-голяма стабилност. Всички измервания се фотографират и се прилагат в цифров вид към техническите отчети.

При необходимост от стабилизиране на нов нивелачен репер, за предпочитане е да бъде тип „гъба“ и да има център, за да улесни станционирането на ГНСС антена за преки измервания.

Върху нивелачните репери, на които е невъзможно извършването на преки ГНСС измервания, се стабилизират „изнесени“ (на разстояние 15 – 60 m) геодезически пирони, които се координират като действителен нивелачен репер и от които в следствие се извършва прецизна геометрична нивелация за определяне на геодезическата височина на действителния нивелачен репер.

Минималният престой за определяне на вектор е 15 минути, като за осигуряване на независими/полузависими измервания следва престоят на нивелачен репер да е минимум 30 минути.

Привързването на измерванията към ETRS89, ETRF2000, епоха 2005 се осъществява чрез **минимум 3 точки** от Държавната GPS мрежа и/или данни от физическа станция от състава на сертифицирана Инфраструктурна мрежа.

При спазване на така представената методика в табл. 1 се прилагат получените практически резултати от измервания по 2 нивелачни линии. Видно е, че зададеният критерий за получена точност от 20 mm е напълно постижим, като е направен и допълнителен анализ на разлики в измерените геодезически превишения (получени от ГНСС измервания) и нормални превишения (получени от извършена прецизна геометрична нивелация, с нанесени гравиметрични поправки).

Таблица 1. Оценка на точността по приложена методика

Критерии\нивелачна линия	Линия 1	Линия 2
Точност на ГНСС определенията	min $\pm 2,4$ mm	min $\pm 7,1$ mm
	max $\pm 8,0$ mm	max $\pm 17,2$ mm
Разлика между геодезически и нормални превишения	min -71,9 mm	min -30,9 mm
	max +9,6 mm	max +60,3 mm
Средна квадратна грешка за единица тежест	$\pm 33,5$ mm	$\pm 23,6$ mm

5. Заключение

▪ Относно ГНСС определенията на координатите на точки от височинната система – за определяне координатите на репери от нивелачни линии е достатъчно прилагането на измервания в реално време – RTK-NET, предвид изискваната точност. При изискване обаче на висока точност във височинно отношение, неминуемо се постига и такава в планово, следователно би могло да се предвиди за в бъдеще новостабилизираните репери да имат и център (особено подходящите за преки ГНСС измервания), с което ще се улесни стационарирането върху тях, а и реперите вече биха могли да се разглеждат и като **гъстяващи на Държавната GPS мрежа**.

▪ Относно ГНСС определенията на геодезическите височини на точките от височинната система – определянето на геодезическите височини на реперите следва да се осъществява единствено със статични ГНСС измервания и привързване към Координатна система БГС2005 чрез Държавната GPS мрежа и/или данни от физически станции на сертифицирани Инфраструктурни мрежи. При наличие на „недостъпни“ за ГНСС преки измервания репери да се координират на подходящи места геодезически пирони, от които да се измерва превишението посредством **геометрична нивелация**.

▪ Целесъобразно е следене на вертикалните премествания на реперите от ДНМ посредством прецизни ГНСС измервания, да се осъществи успоредно с реализирането на измерванията по Държавната GPS мрежа (което е заложено да се случва през 10 години). За сравнение преизмерването на нивелачните мрежи следва да се извършва през 20 години, с продължителност до 5 години.

▪ Създаването на регистри с данни за височина на геоида (квазигеоида) по метода ГНСС/нивелация с определени геодезически височини с точност 20 mm, може да послужи за:

- оценка на точността на модели на геоида (квазигеоида);
- изведен модел на геоида (квазигеоида) с доказана точност;
- изведен модел на геоида (квазигеоида) по метода ГНСС/нивелация, като при налична достатъчна гъстота на данните би могло да се достигне точност от 50 mm и по-добра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Instruksia № RD-02-20-1 от 15 yanuari 2021 g. za sazdavane i poddarzhane na Darzhavnata nivelachna mrezha.

2. Instruksia № RD-02-20-25 от 20 septemvri 2011 g. za opredelyane na geodezicheski toчки s pomoshhta na Globalni navigatsionni spatnikovi sistemi (GNSS).

3. *Lambeva, T. Osnovi na prostranstveno-vremevite referentni sistemi*, monografia, ISBN: 978-619-188-513-8, gr. Sofia, 198 str., 2020.

4. *Peneva, E. Visochini i visochinni sistemi*, monografia. Voенно-geografска sluzhba, 173 str., 2017.

5. *Peneva, E., Astardzhiev, B., Lambeva, T., Mitrev, G., Marinov, G. Testovi gravmetrichni izmervania po linia ot Darzhavnata nivelachna mrezha. // Godishnik na Universiteta po arhitektura, stroitelstvo i geodezia*, tom 50, br. 4, 2017, ISSN 1310-814X.

6. *Peneva, E., Patalov, S.* Prilozhenie na metoda na kolokatsiyata za izvezhdane na lokalen model na geoida za chast ot teritoriyata na R Makedonia. // Godishnik na Universiteta po arhitektura, stroitelstvo i geodezia, tom 51, broj 9, 2018, Sofia, str. 33-44, ISSN 1310-814X, 2018.

7. *Stoynov, V., Peneva, E.* Fizicheska geodezia. UASG, Sofia, 254 str., 2002.

8. *Adam, J., Augath, W., Brouwer, F., Engelhardt, G., Gurtner, W., Harsson, B. G., Ihde, J., Ineichen, D., Lang, H., Luthardt, J., Sacher, M., Schlüter, W., Springer, T., Wöppelmann, G.* Status and Development of the European Height Systems. Geodesy Beyond 2000: The Challenges of the First Decade, IAG General Assembly Birmingham July 19 – 30, Springer, 1999.

9. *Lambeva, T., Peneva E., Gospodinov S.* Normal height and geopotential number differences determination for the territory of Bulgaria with use of data from global gravity field models, Bulgaria, 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 (SGEM 2019), Conference Proceedings Volume 19, Issue 2.2, Part A, ISBN: 978-1-5108-8992-7, pp. 257-267, pp. 309-319.

10. *Peneva, E., Gospodinov, S., Lambeva, T., Dimeski, S.* Preliminary results of connection between two state leveling networks via cross-border levelling measurements. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 (SGEM 2019), Conference Proceedings Volume 19, Issue 2.2, Part A, ISBN: 978-1-5108-8992-7, pp. 257-267.

GNSS MEASUREMENTS FOR THE NEEDS OF PRECISE HEIGHT DETERMINATIONS IN BULGARIA

Y. Tsanovski¹

Keywords: *GNSS, geometric levelling, methodology*

ABSTRACT

The paper deals with issues related to the implementation of related high-precision GNSS measurements associated with the promulgated “Instruction No. RD-02-20-1 of 15 January 2021 for the establishment and maintenance of the State Leveling Network” [1]. The significance of GNSS determinations and their validation in terms of accuracy are directly related to the implementation and distribution of any height reference system. A justified methodology for GNSS measurements is proposed, providing the required accuracy for both scientific and applied research.

¹ Yuri Tsanovski, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geodesy”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tzanovski_fgs@uacg.bg