

Получена: 22.12.2017 г.

Приета: 29.05.2018 г.

ИЗВЕЖДАНЕ НА ЕТАЛОННИ СТОЙНОСТИ В ИЗГРАДЕНА БАЗА ЗА ПРОВЕРКА НА ГЕОДЕЗИЧЕСКА АПАРАТУРА

Ю. Цановски¹

Ключови думи: еталонни стойности, Bernese 5.2

РЕЗЮМЕ

За да бъде изпълнено предназначението на комплексна база за еталониране на геодезическа апаратура, изградена на територията на УОБ „Веринско” (УАСГ), следва да бъдат изведени стойности за измервани величини – посоки, разстояния, превишения, координати. В доклада се акцентира върху получаването на координати на устройствата за принудително центриране в Координатна система БГС2005 (ETRS89, епоха 2005.0) посредством научноизследователския софтуер „Bernese 5.2”. На база на получените стойности се доказва устойчивостта на фундираните стълбове след 4-годишен период на слягане.

1. Въведение

Съвременното състояние на геодезическите инструменти е на много високо технологично равнище, основано на върхови постижения в областта на електрониката, механиката, оптиката и др. Световният пазар на геодезическа техника и апаратура предлага различни класове и модели високоточно геодезическо оборудване и инструменти за научни и научно-приложни изследвания. Тази техника работи при различни технологични и метеорологични условия, а в определения ѝ гаранционен период правилното ѝ функциониране се поддържа от фирмите производители. Извън този гаранционен период, напълно естествено е с течение на времето, всеки измерителен уред да показва отклонения от първоначалните си тестове, независимо дали те се дължат на амортизиране или

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

причинена повреда. Често в практиката се налага необходимостта от комбинирането на различна марка инструменти от един клас, което води до промяна в някои от измерените стойности – дължини, посоки, превишения или ГНСС определения.

За гарантиране на точността на използваната апаратура в геодезическата практика, проектиране и строителството в България и участие в международни проекти и дейности се изисква съответната апаратура да бъде еталонирана при реални условия и документално сертифицирана за дадените от производителя паспортни технически параметри. Именно това е целта на изградената през 2010 г. „База за комплексна проверка и еталониране на геодезическа апаратура” в района на УОБ „Веринско” по проект към ЦНИП-УАСГ с ръководител доц. д-р инж. Борислав Александров.

2. Контролни геодезически измервания

В рамките на осъществения проект са извършени следните контролно-измервателни дейности:

2.1. Прецизно определяне на дължините между контролните стълбове в 2 цикъла

За измерванията е ангажиран единственият наличен в България светлодалекомер Kern ME-5000, предоставен с любезното съдействие на фирма „Геопрециз” – София. Kern ME-5000 е най-точният електронен геодезически инструмент за измерване на дължини в диапазона 20 – 8000 метра с точност $0,2 \pm 0,2 \text{ mm/km}$. Тази гарантирана от завода производител точност на определените дължини е достатъчно основание да бъдат приемани измерените дължини в базата като достатъчно надеждни. След въвеждане на необходимите корекции за влияние на температура на въздуха и атмосферното налягане, фактори с чувствително въздействие на измерените разстояния, се достига до окончателните стойности на всички дължини в контролната мрежа. До получаване на координати на всички стълбове се достига след въвеждане на подходяща локална координатна система и обработка с минимум изходни данни [3]. Изравнението се характеризира със следните параметри:

- средна квадратна грешка за единица тежест $m_e = 0,4$;
- поправките в разстоянията между центровете на геодезическите знаци са в порядъка $v_l = 0,10 - 0,79 \text{ mm}$;
- максимална средна квадратна грешка в получените координати $m_p = 0,1 \text{ mm}$.

2.2. Прецизна геометрична нивелация между реперите в контролните стълбове в 2 цикъла

Използван е комплект нивелачни инструменти на фирма SOKKIA – прецизен дигитален нивелир SDL30 и 4 метрови баркодери лати от фиберглас, с проспектна точност $0,7 \text{ mm/km}$ за двойно пронивелиран нивелачен ход.

Превишенията между реперите на контролните стълбове от еталонната база са измерени в прав и обратен ход, като е съблюдувано визуриите да бъдат на минимална височина над терена $0,30 \text{ m}$ и максимално до $3,00 \text{ m}$.

Обработката на измерванията е извършена с програмния продукт TPLAN, а резултатите се характеризират със:

Средни квадратни грешки за единица тежест (mm):

Изчислена от точността на измерените величини – 0,29.

Изчислена от двустранно измерените превишения – 0,20.

Изчислена от несъвпаденията в затворените ход. – 0,28.

Изчислена от несъвпаденията във включен. ход. – 0,28.

Изчислена от изравнението по МНМК – 0,27.

Максималната грешка, получена след изравнение, е $m_h = 0,21$ mm при НС3 и НС4.

2.3. ГНСС определения на стълбовната мрежа в Координатна система 2005 в 2 цикъла

Координатите на наблюдателните стълбове в координатна система БГС2005 са получени посредством GPS определения с 4 двучестотни приемника Leica System 900. При планиране на измерванията е съблюдавано всяка от точките да бъде определена от минимум 3 съседни точки, като свързващите ги пространствени вектори да бъдат независими помежду си. Интервалът на запис на данните е на всеки 5 секунди, височината над хоризонта 10° , а минималният сеанс на точка е 15 мин. Максималната средна квадратна грешка е $m_p = 1,0$ mm при стълб 1.

2.4. Анализ на извършените измервания

Резултатите, получени от различни видове измервания, са с високо качество и са основа за анализи, които са представени на различни форуми и специализирани издания:

– **GPS приложение за прецизни дължинни определения**, статия, списание „Геомедия”, брой 3, май – юни 2012 г., Б. Александров, Ю. Цановски,

Резюме: В статията са разгледани дължинни определения посредством GPS, извършени с едночестотни и двучестотни приемници, като са направени сравнения на резултатите между използваните софтуери за обработка, както и възможността за съвместното измерване на едно- и двучестотни приемници. Опитите са извършени на изградената еталонна база в УОБ „Веринско“, осигуряваща великолепни условия за GPS наблюдения, като резултатите са отнесени към направените измервания на дължинната база със светлодалекомер Kern Mekometer ME5000.

– **Използване на GPS технология за деформационни определения**, доклад на Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ, София 15 – 17 ноември, 2012, Б. Александров, Ю. Цановски.

Резюме: В доклада се съпоставят резултатите от измерванията на еталонна база развита в УОБ „Веринско”, извършени с далекомер Kern ME5000 и с GPS Leica System. Направено е сравнение на координатите в проекционна координатна равнина, с оглед оценка и приложение на двата метода в геодезическата практика.

– **Използване на GPS за определяне на премествания на точки във вертикално отношение**, София, Годишник на УАСГ – 2013, Ю. Цановски.

Резюме: Състоянието на инженерно съоръжение се дефинира с изследванията за преместване на определен брой точки, разположени на характерни места по него. С прилагането на ГНСС технологията, местоположението на точките се определя в тримерното пространство едновременно, което поставя въпроса за надеждността и ефективността на оценките, получени от ГНСС определения във вертикално отношение.

– **Оптимизиране на мрежа, създадена чрез ГНСС методи**, Годишник на УАСГ – 2014, Ю. Цановски, М. Илиязов.

Резюме: В статията се разглежда оптималното проектиране на геодезическа мрежа, която отговаря на критериите точност, надеждност (устойчивост) и икономическа ефективност. Тези критерии се удовлетворяват чрез минимизиране или максимизиране на математическа функция, която включва споменатите критерии за качествата на мрежата. Изследва се оптималната конфигурация (план на измерване) на геодезическа мрежа, в която се съкращават средства и ресурси без загуба на точност.

В заключение от извършените анализи може да се твърди, че извършените измервания са с високо качество и много добра съгласуваност помежду си. Те са станали основа за разработването на методика при използването на ГНСС за деформационни определения на инженерни структури. Като недостатък обаче трябва да се изтъкне малкият им брой – предвид динамиката на развитие на геодезическа апаратура и появяващите се нови методи за координатни определения трябва да се изведат актуални еталонни стойности за координати, дължини, ъгли и превишения. За целта е необходимо периодичното извършване на контролни измервания на тези стойности с икономически ефективен и независим от атмосферните условия метод, какъвто може да бъде ГНСС определенията.

3. Определяне на координатите на стълбовете чрез изравнение на мрежа от базисни вектори със софтуерен пакет Bernese GNSS Software v5.2

3.1. Bernese GNSS Software v5.2

Осигуряването на „еталонна“ точност може да бъде постигнато чрез изравнение на мрежа от базисни вектори посредством софтуер, използван при обработката на глобални и регионални ГНСС мрежи – Bernese v5.2, разработен в Астрономическия институт на Университета в Берн, Швейцария. Bernese GNSS Software намира огромно приложение за високоточна обработка и анализ на ГНСС наблюдения и различни научноизследователски проекти. Използва се от Центъра за изчисляване на орбити в Европа (CODE – Center for Orbit Determination in Europe) за дейностите, свързани с IGS и EUREF/EPN, както и от около 700 институции по целия свят. Програмният продукт отговаря на най-съвременните изисквания за точност и надеждност на получените резултати и използва най-ефективните стратегии за решаване на нееднозначностите, което позволява обработката на базисни линии с дължина до няколко хиляди километра. Освен като мощен инструмент за дефиниране на координатни системи, Bernese се използва за анализ на тропосферни влияния, параметри на ориентация на Земята, глобални йоносферни модели и т.н. Софтуерът е сложен и изисква задълбочена теоретическа подготовка. В следващите редове ще бъде описана възможно най-обобщено стратегията при обработката на измерванията.

3.2. Стратегия за обработка на статичните измервания

Извършени са кодови и фазови наблюдения по двете носещи честоти и са използвани прецизни спътникови ефемериди и данни за часовниците им, параметри на Земна ротация, атмосферни и тропосферни модели, информация за вариациите на фазовите центрове на антените и др. Взет под внимание и оценен е всеки един параметър, водещ до влошаване на решението. Мрежата от стълбове е привързана към 4 станции от Европейската перманентна мрежа EPN: Ankara (ANKR), Istanbul (ISTA), Bucaresti (BUCU) и Sofia (SOFI), като се използват техните официални координати и скорости. В изравнението като новоопределяема е включена и станцията в Охрид (ORID), като целта е сравнение на получените нейни координати и вече известните такива.

Конвертирането на суровите измервания в международно приетия формат RINEX (Receiver Independent Exchange Format) и проверка за грешки при привеждането на измерените височини на антените до т.нар. референтна точка (ARP – Antenna Reference Point) е задължително при всяка една обработка на GPS измервания. Също така е ключово правилното въвеждане на типа на приемника и антената в RINEX файла. В последствие RINEX файловете са конвертирани във формат, използван от Bernese – разделени са на файлове, съдържащи нулеви и единични фазови разлики. Изтеглянето на прецизни спътникови ефемериди също е възможно при комерсиалните софтуери, но в случая освен тях са свалени файлове от ftp сървъра на CODE, съдържащи допълнителни данни (атмосферни модели, параметри на земна ротация, часовникови корекции и т.н.), без които е невъзможно да се достигне висока точност в определянето на дълги вектори. Интерполирани са тектонските скорости на новоопределяемите точки чрез модела NUVEL-1A.

Използвани са различни стратегии за фиксиране на нееднозначностите в зависимост от дължината на векторите. Една от използваните стратегии за решаване на нееднозначностите е т.нар. квази-йоносферна стратегия (Quasi-Ionosphere-Free, QIF), при която се анализират и фиксират наблюдения едновременно по двете честоти L1 и L2 и се използва йоносферно освободената линейна комбинация L3. Базисните линии са съставени по стратегията OBS-MAX, която избира оптимална комбинация от независими вектори с оглед на максимален брой едновременни наблюдения и минимални дължини. Извършени са измервания в два последователни дни, вследствие на което са определени две дневни решения. Комбинирането на нормалните уравнения за всяко едно дневно решение води до получаване на крайните координати.

3.3. Резултати

Резултатите са получени в реализация на Международната Земна Координатна Система ITRF2008 и чрез известните трансформационни параметри и скорости на точките, координатите на осемте определяеми стълба са трансформирани в ETRS89, реализация ETRF2005, епоха 2005.0 – т.е. в БГС2005. Геоцентричните координати и техните средни квадратни грешки в БГС2005 са представени в табл. 6.2. Средната квадратна грешка за единица тежест от изравнението на мрежата е 0,00112 m.

Таблица 1. Еталонни координати и грешки в БГС2005, получени чрез изравнение на мрежата от вектори

N	X [m]	m_x [m]	Y [m]	m_y [m]	Z [m]	m_z [m]
1	4312801.45328	0.00098	1894955.20588	0.00055	4286732.42831	0.0009
2	4312792.76188	0.00181	1894966.96541	0.00081	4286735.90687	0.0021
3	4312772.55779	0.00087	1894994.35415	0.00049	4286744.07267	0.0008
4	4312737.94975	0.00095	1895041.26047	0.00054	4286758.04694	0.0009
5	4312685.97291	0.00091	1895111.71961	0.00049	4286779.07100	0.0009
6	4312726.74575	0.00091	1894992.71042	0.00061	4286794.04514	0.0009
7	4312738.39967	0.00089	1894913.46008	0.00050	4286819.26726	0.0009
8	4312678.69823	0.00083	1894992.75909	0.00047	4286841.95230	0.0008

4. Определяне на устойчивостта на стълбовете от изградената база

За да бъдат еталонните стойности надеждни, следва да бъдат устойчиви в течение на времето, т.е. определените координати да се отнасят за дълъг експлоатационен период. Следователно стълбовете, осигуряващи координатната система на измерваните величини, трябва да бъдат изследвани за устойчивост.

В статията „Изследване устойчивост на опорни точки при деформационни мрежи”, тематична поредица на Департамент Геодезия на НИГГГ при БАН, септември 2015 г., с автор Ю. Цановски, са разработени методи за анализ на стабилността на разглежданите точки при извършени ГНСС наблюдения. Основните направления на разработките са в посоки – статистически хипотези за стабилност на контролните точки (control points) и критичен праг, вследствие на който може да се съди за промяна на местоположението на точката. Трудността при доказване на стабилност чрез ГНСС до голяма степен е в следствие на 3-дименсионалното определяне на местоположението, като разделянето на планово и височинно отношение е трудна задача, поради високата корелация между координатните компоненти (X, Y, Z). Поради този факт се разглежда и възможността за изследване на стабилността в две направления – хоризонтално и вертикално, съответно в подходящо дефинирани височинна и координатна системи. В спомената статия са разгледани 5 метода за изследване на устойчивост, нагледно приложени за 29 цикъла измервания, като са сравнени помежду си и с доказан във времето метод – прецизна геометрична нивелация.

В конкретния случай са разгледани 4 цикъла на ГНСС определения в период от 5 години. Като всяко новопостроено инженерно съоръжение в началния период се наблюдава процес на слягане. За период от 3 години от януари 2012 до юни 2015 г. стълбовете са променили местоположението си средно с 8 mm. При последните изследвания (04.2017 г.) промяната е незначителна – под 0,8 mm, което е в рамките на точността на използваните методи.

5. Заключение и изводи

Изградената база за проверка на геодезическа апаратура осигурява невероятната възможност за безпрепятствено извършване на различен тип геодезически измервания – посоки, ъгли, дължини, превишения, ГНСС и др. Към момента стълбовете са с доказана устойчивост, като са определени и координатите им в ETRS89, реализация ETRF2005, епоха 2005.0 – т.е. в БГС2005. За потвърждаване на тези стойности следва да бъдат извършени и класически измервания – прецизна геометрична нивелация, прецизни ъгли и дължинни определения. Тяхната обработка и анализ са стъпката, която да се направи за налагане на еталонните стойности, с които след съгласуване с АГКК, ВГС и други ведомства може да спомогне за създаване на необходимите нормативни промени и изисквания за проверка на геодезическата техника при извършване на различни научни, научно-приложни и специализирани дейности.

На база на съществуващата мрежа и изведените ѝ еталонни стойности биха могли да се проверяват и контролират следните параметри:

- контрол на дължинна точност на всички модели и класове далекомери, както и събирателната и умножителна константа на комплекта светлодалекомер-отражател;
- изследване на тоталните станции за измерване на ъгли в различни сектори и установяване на отклонения от еталонните. Предназначението на един от стълбовете е насочено за проверка на роботизирани тотални станции, с осигуряване на възможност за контрол в 7 еталонни направления;
- наличието на предварително монтирани репери в основата на стълбовете осигурява изследване на всякакви дигитални и оптически нивелири, включително и максималните дължини на визуирите нивелир-лата, при запазване на паспортната точност за различни метеорологични условия;
- стълбовете могат да бъдат използвани за проследяване на влиянието на фазовите центрове на GPS антените върху определянето на равнинното и височинно местоположение, като се установи връзката на азимута на отместването и маската на височината на наблюдаваните спътници с точността на позиционирането;
- „Инфраструктурни мрежи” и въпроса със сертифицирането им за използване на предлаганите от тях услуги – еталонната база, която е определена в Българската геодезическа система 2005 (БГС 2005) може да съдейства за извършване на необходимите контролни измервания при сертифицирането им;
- съществен елемент при проектирането на база за контролни класически измервания е създаването на метеорологичен пост, за получаване на метеоданни при изследванията в реални условия. Той включва аспирационен термометър, барометър с възможност за показване на тенденции и прогнози на времето, анемометър за отчитане на скоростта на вятъра с ветропоказател и индикатор за влажността на въздуха;
- изследване на възможността за налагане на нови методи на измерване в геодезическата практика;
- научни изследвания в областта на ГНСС сигналите, тяхното качество и методи за обработка.

Благодарности

Изказвам огромни благодарности на колектива, осъществил идеята по научноизследователския проект „Национална база за комплексна проверка и еталониране на геодезическа апаратура” към Центъра за научни изследвания и проектиране към УАСГ, а именно: доц. д-р инж. Борислав Емилов Александров, кат. „Геодезия и геоинформатика”; проф. д-р инж. Васил Георгиев Вълчинов, кат. „Геодезия и геоинформатика” – пенсиониран; доц. д-р инж. Бано Петров Банов, кат. „Геодезия и геоинформатика” – пенсиониран и ас. инж. Йордан Колев Йорданов, кат. „Висша геодезия” – бивш.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, Б., Цановски, Ю., Йорданов, Й. Изграждане на еталонна база за комплексна проверка на геодезическа апаратура. Доклад на Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ, София 15 – 17 ноември, 2012.
2. Александров, Б., Цановски, Ю. GPS приложение за прецизни дължинни определения. Статия, списание „Геомедия”, брой 3, май – юни 2012 г.
3. Александров, Б., Цановски, Ю. Използване на GPS технология за деформационни определения. Доклад на Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ, София 15 – 17 ноември, 2012.
4. Цановски, Ю. Използване на GPS за определяне премествания на точки във вертикално отношение. София, // Годишник на УАСГ – 2013.
5. Цановски, Ю., Илиязов, М. Оптимизиране на мрежа, създадена чрез ГНСС методи. // Годишник на УАСГ – 2014.
6. Цановски, Ю. Изследване устойчивост на опорни точки при деформационни мрежи. Тематична поредица на Департамент Геодезия на НИГГГ при БАН, септември 2015 г.

DEFINING REFERENCE VALUES IN A BASE FOR VERIFICATION OF GEODETIC INSTRUMENTS

Y. Tsanovski¹

Keywords: reference values, Bernese 5.2

ABSTRACT

In order to fulfill the purpose of a complex base for calibration of geodetic instruments, built on the territory of the Verinsko resort (UACEG), the measured values should be derived – directions, distances, heights, coordinates. The paper focuses on obtaining coordinates of the centering devices in Coordinate System BGS2005 (ETRS89, epoch 2005.0) using the research software “Bernese 5.2”. On the basis of the values obtained, the resistance of the pillars is proved after a 4-year set-off period.

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