



Получена: 08.01.2019 г.

Приета: 30.01.2019 г.

ОПТИМИЗИРАНА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ И ТЯХНАТА ОБРАБОТКА

М. Николова¹

Ключови думи: Еталонна гравиметрична мрежа, гравиметрични измервания

РЕЗЮМЕ

Статията акцентира върху оптимизирана технология за гравиметрични измервания и тяхната обработка. Обърнато е внимание на актуалните методи на измерване и тяхната обработка, разгледано е съвременното състояние на Държавната гравиметрична мрежа на Република България. Целта на разработката е да се предложи оптимизирана технология за гравиметрични измервания и тяхната обработка, която да бъде приложима за възстановяването, обновяването и/или създаването на нов еталонен гравиметричен полигон и на ДГрМ като цяло.

1. Въведение

Изучаването на гравитационното поле на Земята е непрекъснат процес от съществено значение. За целта световната опорна гравиметрична мрежа, като изходна база, е от голяма важност, водеща до необходимостта от обединяване на изходните абсолютни национални мрежи и мащаба на относителните определения на силата на тежестта. Привеждането на относителни измервания в абсолютна система се осъществява, като същите се привързват към една или повече абсолютно определени точки. За да се определи мащабът им, са необходими високоточни абсолютни определения в няколко точки.

Световната референтна гравиметрична мрежа определя единна глобална гравиметрична система, към която, строго погледнато, трябва да бъдат отнесени всички гравиметрични измервания, направени на Земята. Както при на другите видове геодезичес-

¹ Мария Николова, инж., УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София,
e-mail: maria.zdr@gmail.com

ки мрежи, така и при гравиметричните се върви „от общото към частното“. За тази цел, на първо място се създава световна опорна гравиметрична мрежа, която след това постепенно се съгъства в държавни или национални референтни гравиметрични мрежи, а оттам регионални гравиметрични мрежи, на база на които се развиват локалните гравиметрични мрежи.

Държавната гравиметрична мрежа (ДГрМ) служи като опорна мрежа за изучаването на гравитационното поле на територията на страната. Държавната гравиметрична мрежа представлява част от единната геодезическа основа на Република България. Предназначението на Държавната гравиметрична мрежа е да подsigури равномерно разположени точки с определени стойности на силата на тежестта с максимално висока точност за територията.

По своята същност еталонните мрежи са тези с най-висока точност. Поради неопределеността на параметрите, определящи нестабилността на гравиметричното поле на Земята, оценяването на точността на калибрационните линии е трудно постижима задача. Точността, достигната при създаването им, бива запазена за неопределен период от време, което представлява още един неизвестен параметър.

Разгледана е оптимизирана технология за изграждане и поддържане на гравиметрична калибрационна линия, за ДГрМ и Държавна нивелачна мрежа (ДНМ). Предложен е оптимален инструмент за създаване и поддържане на единна гравиметрична основа, разпространяваща приетата гравиметрична референтна система. Създадена е база данни от получените резултати от измерванията, която може да се ползва като един начален етап от възстановяването, обновяването и/или създаването на нов еталонен гравиметричен полигон.

2. Гравиметрична мрежа на Република България – исторически преглед на калибрационните линии

По своята същност еталонните мрежи са тези с най-висока точност. Поради неопределеността на параметрите, определящи нестабилността на гравиметричното поле на Земята, оценяването на точността на калибрационните линии е трудно постижима задача. Точността, достигната при създаването им, бива запазена за неопределен период от време, което представлява още един неизвестен параметър.

В началото за еталониране на гравиметри в България е използвана отсечката „Агрономически факултет – Драгалевски манастир“, като разликата в стойностите на силата на тежестта между двете точки е определена чрез измервания с махален гравиметър, извършени от ЦНИИГА и К – Москва.

По-късно, за тази цел в района на София от „Геопланпроект“ към ГУГК са създадени бази и полигон за изследване и еталониране на гравиметри, като еталонните отсечки „Княжево – Копитото“ и „Храм „Ап. Невски“ – Драгалевци – Черни връх“ са определени също чрез махални измервания.

През седемдесетте години за изследването и еталонирането на гравиметри в България с помощта на геодезическите служби на бившия СССР и някои други бивши социалистически страни, са създадени два високоточни гравиметрични полигона. Националният еталонен гравиметричен полигон (НЕГП) е с направление по меридиана: Видин – Белградчик – Монтана – Петрохан – София – Дупница – Мелник. Вторият полигон е с направление по паралела: София – Кписура – Казанлък – Сливен – Бургас – Обзор – Варна. Резултатите от многократните измервания с различен тип апаратура на НЕГП показват, че разликите в измерената сила на тежестта достигат до 0,50 mGal между край-

ните точки Видин и Мелник, независимо от това, че употребяваните за измерването гравиметри са еталонирани на отсечки от Международния еталонен гравиметричен полигон (София – Будапеща – Прага – Потсдам).

През 1968 г. с пет махални гравиметри ОВМ от руски специалисти са извършени махални измервания на отсечката София – Черни връх, която е от международния еталонен гравиметричен полигон. Средната квадратна грешка от петте махални гравиметри е $\pm 0,060$ mGal [4]. По-късно, през 1969 г., с гравиметри ГАГ-1 и ГАГ-2 са извършени гравиметрични измервания също от руски специалисти на отсечките София – Начало Драгалевски лифт; Начало Драгалевски лифт – Край на лифта; Край на лифта – хотел „Щастливеца“, хотел „Щастливеца“ – София. Също са измерени и отсечките София – „Копитото“; „Копитото“ – „Тихия кът“; „Тихия кът“ – София със средни грешки до $\pm 0,080$ mGal. От 1970 до 1983 г., същият полигон е измерван всяка година с гравиметри от вида ГАК-4М, ГАК-7Т и ГР/К2 (собственост на НИИГиФ) от Б. Николов, Б. Прокопиев и Е. Михайлов, като е направен анализ на получените резултати [6]. През 1996 г. полигонът е измерен отново със същите гравиметри от Е. Михайлов, а през 2004 г. е преизмерена част от полигона с гравиметър ГАК-7Т № 524 (собственост на УАСГ) от Е. Михайлов, а останалата част – с компютризиран гравиметър Scintrex CG-3, от белгийския специалист М. Еверхард [8]. Измерени са някои отсечки от полигона с компютризиран гравиметър Scintrex CG-5 от М. Еверхард през 2007 година. Средните грешки от измерванията с гравиметрите от вида ГАК и ГР/К2 достигат до $\pm 0,090$ mGal за различните периоди на измерване. Точностите, получени с компютризираните гравиметри CG-3 и CG-5, са около $\pm 0,010$ mGal.

През 1999 г. от ЦЛВГ към БАН, с участието на ГФ на УАСГ, е създаден гравиметричен ход от три отсечки между абсолютните гравиметрични точки СОФИЯ (в Агенцията по геодезия, картография и кадастър) и ПЛАНА (в Геодезическата обсерватория) и междинните точки Симеоново и Железница. Този ход е измерен няколко пъти от австрийски и белгийски специалисти с високоточни гравиметри и също може да се използва за изследване и еталониране на гравиметри.

3. Оптимизирана технология за гравиметрични измервания и тяхната обработка

Значимостта на геодезическите гравиметрични измервания и данни за страната е в следните области:

- създаване на единна гравиметрична основа, разпространяваща приетата гравиметрична референтна система – ДГрМ;
- създаване и поддържане на модел на гравитационното поле за територията на страната за решаване на специфични задачи, като изчисляване на модел на квазигеоида, решаване на геодинамични задачи и др.;
- реализация на височинната основа на страната (Държавната нивелачна мрежа), разпространяваща приетата височинна референтна система, свързана с приетата гравиметрична референтна система.

В статията се предлага оптимизирана технология за геодезическите гравиметрични измервания и обработки за представените по-горе задачи.

Държавната гравиметрична мрежа на страната е необходимо да се обнови изцяло, за да се приведе в съответствие с приетите международни стандарти и гравиметрична референтна система. Основна част от реализирането на ДГрМ е изграждането и поддър-

жането на гравиметрични калибрационни линии, подsigуряващи измерванията и поддържането по гравиметричната мрежа, както и всички други гравиметрични измервания в страната.

Оптимизирана технология за изграждане и поддържане на гравиметрични калибрационни линии

Изисквания: 1/ за територията – да подsigуряват условия за проверка, калибриране на гравиметрите; 2/ да са с най-високата съвременна точност; 3/ да са стабилни и устойчиви, което обуславя специални условия, покриващи най-високите изисквания при тяхното изграждане и следене; 4/ да е подsigурен достъп и охрана на станциите от линията.

Проектиране и изграждане: да обхванат диапазона на гравитационното поле за страната, т.е. да са разположени така, че да подsigурят гравиметричните измервания за всяка част от територията; да са изградени на стабилни места и стабилизирани подходящо, охранявани, с ограничен достъп и т.н.

За постигане на точността: 1/ подходящо разпределение/позициониране на точките от калибрационната линия; 2/ да се проектират измервания с подходяща/подsigуряваща точността схема за измерване, съпътствана с точен план за измерване и обработка; 3/ да се предвиди ползване на съвременни гравиметри, подsigуряващи най-висока точност и надеждност.

Оптимизирана технология за изграждане и поддържане на ДГрМ

Изисквания: 1/ да разпространяват с висока точност гравиметричната референтна система; 2/ да са стабилни и устойчиви, т.е. да се предвиди необходимото изграждане и следене на станциите; 3/ да е подsigурен достъп и охрана на всяка станция.

Проектиране и изграждане: да са равномерно разположени по територията на страната; да са изградени на стабилни места и стабилизирани подходящо, охранявани, с контролиран достъп и т.н.

За постигане на точността: 1/ да се предвиди подходящо разпределение, т.е. позициониране на точките; 2/ да се проектират измервания на мрежата с подходяща/подsigуряваща точността схема за измерване, съпътствана с точен план за измерване и обработка; 3/ да се предвиди ползване на съвременни гравиметри, подsigуряващи най-висока точност и надеждност.

Оптимизирана технология за измервания по линии от ДНМ

Изисквания: 1/ да подsigуряват възможност за определяне на стойности за големината на силата на тежестта за реперите от ДНМ в приетата гравиметрична референтна система.

За постигане на точността – да се проектират измервания по нивелачните линии с подходяща схема на измерване, съпътствана с точен план за измерване и обработка; да се предвиди ползване на съвременни гравиметри, подsigуряващи висока точност и надеждност.

4. Анализ и препоръки

Във връзка с реализирането на ДГрМ, свързано с изграждането и поддържането на гравиметрични калибрационни линии, подsigуряващи измерванията и поддържането по гравиметричната мрежа, както и всички други гравиметрични измервания в страната, са направени гравиметричните измервания на точки от Софийския гравиметричен полигон, част от Националния еталонен гравиметричен полигон в периода 12 – 13 април 2017 г. с инструменти ГАК-7Т, ГР/К2 и LaCoste&Romberg Model и е направен сравнителен анализ. Освен избора на схема на измерване, подборът на подходящ инструментариум е много важен за постигане на оптимална точност на измерванията на полигоните. Техническите характеристики на използваните инструменти са сравнени в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение на характеристиките на инструменти ГАК-7Т, ГР/К2 и LaCoste&Romberg Model G

Технически характеристики	Модел	ГАК-7Т и ГР/К2	LaCoste&Romberg Model G
Обхват		80 – 120 mGal	7000 mGal
Разделителна способност		0,001 mGal	0,005 mGal
Точност на единично измерване		0,03 – 0,06 mGal	0,04 mGal
Дрейф		1,0 mGal/ден	0,5 mGal/мес
Тегло		5 kg	3,2 kg

На база на сравнителните характеристики и получените резултати [9] може да се твърди, че измерените точки от полигоните са достатъчно стабилни, достъпни и надеждно определени, за да послужат за основа за част от бъдеща еталонна гравиметрична мрежа, като тези полигони отговарят на всички изисквания, за да служат за калибриране на инструменти в бъдеще. Оптимални резултати при бъдещо изграждане на Еталонна гравиметрична мрежа биха се постигнали при използване на основните методи на измервания, като най-подходящ от тях би бил методът на цикличните измервания, като би било добре да се извършат по-голям набор от измервания във всяка станция във връзка с оценката на точността. За преизмерване и доразвиване на Държавната гравиметрична мрежа биха били постигнати най-добри резултати при използване на метод на разликите в комбинация с прост гравиметричен рейс. Поради получените резултати и изявено доброто представяне на инструмента LCR-G, при бъдещи измервания конкретната схема на циклични измервания може да бъде оптимизирана, като се съобразява само с характеристиките на инструмента LCR-G или по-добър от него, като Sintrex CG3+, CG5 и CG6, с които са правени предходни измервания. От направените сравнения на получените резултати, както и от направените съпоставки с предходни измервания, е видимо, че за бъдещи измервания, преизмервания, доразвиване и поддържане на ЕГМ и ДГрМ е необходимо използването на инструмент LCR-G или по-добър от него, като Sintrex CG3+, CG5 и CG6, за постигане на точности, отговарящи на световните стандарти, към които се цели привързването на националните мрежи на България.

Държавната гравиметрична мрежа на страната е необходимо да се обнови изцяло, за да се приведе в съответствие с приетите международни стандарти и гравиметрична

референтна система. Основна част от реализирането на ДГрМ е изграждането и поддържането на гравиметрични калибрационни линии, подсигуряващи измерванията и поддържането по гравиметричната мрежа, както и всички други гравиметрични измервания в страната.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляшки, Т., Михайлов, Е., Димитров, Д., Господинов, Сл., Георгиев, И., Пенева, Е.* Геодезически гравиметрични работи в Република България. БАН, Висша геодезия, 2008.

2. *Георгиев, И., Беляшки, Т., Михайлов, Ем., Димитров, Д., Данчев, П., Михайлов, Г., Гладков, Г., Гъбенски, П., Пенева, Е., Минчев, М.* Реализация на Европейската земна координатна система ETRS89 и Европейската вертикална референтна система EVRS на територията на България. // Геомедия, бр. 5, 2010.

3. *Господинов, Сл., Е. Пенева, Т. Беляшки, Д. Димитров, Г. Михайлов.* Гравиметрични дейности за целите на Геодезията в Република България. София, // Годишник на УАСГ, 2008.

4. *Михайлов, Е.* Анализ на еталонната гравиметрична мрежа на република България. // Годишник на УАСГ, том XXXIX, св. III, Геодезия и земеустройство, София, 1998.

5. *Михайлов, Е., Радичев, Р.* Гравиметрични измервания в България за периода от 1926 до 2011 година. София, // Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, 2011.

6. *Михайлов, Е.* Анализ на гравиметричните измервания на Софийския полигон и базите към него за периода 1967 – 1984. Геодезия, картография и земеустройство, София, 1986.

7. *Младеновски, Мл.* Работи, извършени в България в областта на геодезическата гравиметрия през годините на народната власт. Известия на ГУГК, 1969.

8. *Михайлов, Е., Димитров, Д., Еверертс, М.* Сравнителен анализ на резултати от измервания с компютризиран гравиметър Scintrex CG-5 и гравиметър ГАК-7Т № 524 в Чирпанския район. София, Национална конференция по геофизика, 2010.

9. *Пенева, Е., Господинов, С., Радев, И.* Дейности по изграждане на Софийска гравиметрична калибрационна линия. // Годишник на университета по архитектура, строителство и геодезия, София, за печат.

10. *Господинов, Сл., Е. Пенева-Златкова, А. Андреев, Г. Михайлов.* Анализ на държавната гравиметрична мрежа на Република България. Доклад на работна група по задача 3.3 към Съвета по геодезия картография и кадастър, Създаване на Програма за обновяване и усъвършенстване на Държавните геодезически мрежи (Държавна гравиметрична мрежа), София, 2014.

11. *Милев, Г., Д. Руес, К. Василева, К. Улрих, Н. Димитров.* Абсолютни измервания и гравиметрична система на България. Международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области”, 3 – 4 ноември, София, 2005.

12. *Радичев, Р., Е. Михайлов, Хр. Цанков, А. Кисъв.* Гравиметрични системи, използвани в Република България и оценка на точността на системи IGSN-71 И

UNIGRACE при точки от гравиметричните мрежи. // Годишник Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, том 58, св. I, Геология и геофизика, 2015.

13. *Йовев, И.* Държавни геодезически мрежи на България и свързаните с тях референтни, координатни и височинни системи. БАН, Висша геодезия, София, 2003.

14. *Милев, Г., Г. Вълев, К. Василева, Е. Михайлов.* Национална гравиметрична мрежа на България. Геодезия, картография, земеустройство, София, 2008.

15. *International Association Of Geodesy.* Resolution No. 2 for the establishment of a global absolute gravity reference system. 2015.

16. *Milev, G., L. Stoyanov, K. Vassileva.* Gravimetric base of Bulgaria. Geodesy, No 16, pp. 93-100, 2003.

OPTIMIZED TECHNOLOGY FOR GRAVIMETRIC MEASUREMENTS AND PROCESSING

M. Nikolova¹

Keywords: *gravimetric calibration lines, gravimetric measurements*

ABSTRACT

This document (in Bulgarian) focuses on optimized technology for gravimetric measurements and processing. Actual methods of measurements and processing are taken into account, the national gravimetric network of Bulgaria is being reviewed. The aim of this article is to propose optimized technology for gravimetric measurements and processing which should be applied for reconstruction, renewal and/or creation of new gravimetric calibration lines and the national gravimetric network of Bulgaria as a whole.

¹ Maria Nikolova, Eng., UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: maria.zdr@gmail.com