

ИСТОРИЧЕСКА СПРАВКА ЗА МЕТРОЛОГИЧНОТО ОБЕЗПЕЧАВАНЕ НА СТАТИЧНИТЕ ГРАВИМЕТРИ ИЗПОЛЗВАНИ ОТ ГЕОФИЗИЦИ И ГЕОДЕЗИСТИ В БЪЛГАРИЯ

Ради Радичев¹, Емил Михайлов²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, radirad@mgu.bg

² Национален институт по геофизика, геодезия и география - БАН, emil_mih@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Дадена е подробна историческа справка за създаването на Гравиметричната лаборатория за ремонт на гравиметри в град Бургас и за нейната работа. Също така подробно е описано създаването на Лаборатория за изследване и еталониране на гравиметри в НИИГФ – София. Описана е цялата история по изследване и еталониране на гравиметри в България, както на полигони, така и по метода на наклона за геофизични и геодезични цели.

Ключови думи: Гравиметрия, геодезия, гравиметри, геофизика

HISTORICAL OVERVIEW OF THE METROLOGICAL MAINTENANCE OF STATIC GRAVIMETERS USED BY THE BULGARIAN GEOPHYSICISTS AND GEODESISTS

Radi Radichev¹, Emil Mihaylov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, radirad@mgu.bg

² National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – BAS, emil_mih@abv.bg

ABSTRACT. The report provides detailed historical reference about the establishment of the Gravimetric Laboratory for Servicing Gravimeters – Burgas, as well as its activities. Also, detailed description of the establishment of the Laboratory for Testing and Calibration of Gravimeters at the Research Institute of Geodesy and Photogrammetry – Sofia is included too. The full facts concerning the research and calibration of gravimeters in Bulgaria are presented, including closed polygon and slope-change techniques, which are used for calibration of the instruments for geophysical or surveying purposes.

Keywords: Gravimetry, geodesy, gravimeters, geophysics

Въведение

За решаване на много задачи, както от научен, така от приложен характер в областта на геофизиката и геодезията, е необходимо глобално изучаване на гравитационното поле на Земята. При това с всеки изминат ден изискванията за определяне на неговите параметри нарастват (Козякова и др., 1979). Затова е необходимо да се разработят методи и измерителни средства, позволяващи да се получи във всяка точка на земното кълбо със зададена точност значението на ускорението на силата на тежестта в единна система от физически единици.

В миналото като единствен метод, позволяващ да се създаде единна световна мрежа от опорни точки, е бил махалният метод. Махалните измервания биват махални относителни и махални абсолютни. В последните години за тази цел се използват абсолютните балистични гравиметри с лазерни устройства и криогенните гравиметри. Тези прибори могат да се използват за създаване на опорни мрежи. В качеството на прибори за масови гравиметрични измервания се използват различни

модификации гравиметрите, като например западните Шарп, Уорден, Сцинтрекс, Содин от кварцовите и металическият Ла Коста и Ромберг, а в България руските гравиметри от вида ГАК, ГР/К2, ГНУ-КС и ГНУ-КВ. Също така масово се използват създадените в последно време компютризираните гравиметри от вида Scintrex CG-3 и CG-5.

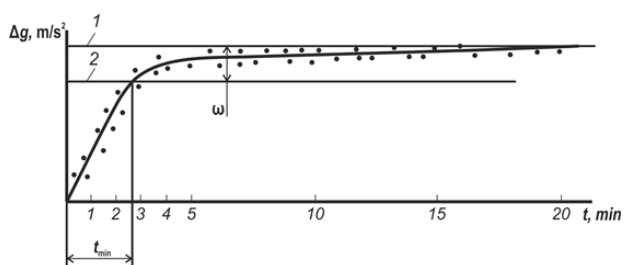
Гравиметричната система IGSN-71 е длъжна да запази мащаба на сухопътните гравиметрични снимки с точност 1.10^{-5} Gal. Тази система трябва да се пренесе и върху националните опорни мрежи, а след това и върху самите снимки. Необходимо е разработването на методи, позволяващи показанията на гравиметрите, изразени в система измерителни единици на скалата, да се приведат в системата физически единици, или, както се казва, да се извърши еталониране /калибриране/ на гравиметрите (Козякова и др. 1979). Изискванията за тази дейност са доста високи. Необходимо е да се знаят мащабните коефициенти на гравиметрите с грешка от порядъка на $\pm 1.10^{-5}$ Gal за западните гравиметри и $\pm 1.10^{-4}$ Gal за руските гравиметри от вида ГАК, ГР/К2, ГНУ-КС и ГНУ-КВ. Еталонирането на гравиметри с такава точност се явява

една от най-трудните задачи на експерименталната гравиметрия.

Опитът в България показва, че проблемът с точността и качеството на гравиметричните измервания е най-непосредствено свързан и с проблема на изследването и еталонирането на гравиметри (Михайлов, 1989, Михайлов и Радичев, 2011), т.е. метрологичното им обезпечаване.

Изследване и еталониране на гравиметри за геофизични цели

В миналото геофизиците са използвали отсечката от Селскостопанска академия в София до Драгалевския манастир за еталониране на гравиметри (Михайлов, 1989). Разликата в стойностите на силата на тежестта между гравиметричните точки на споменатата отсечка е определена с махален гравиметър. По-късно, след създаване на *Гравиметричната лаборатория в Бургас за ремонт на гравиметри*, там в района е създаден и гравиметричен полигон за еталониране на гравиметри. Еталонните стойности на " Δg " на полигона са измерени с гравиметри ГАГ-2 от руски специалисти /геофизици/. Лабораторията е създадена, за да се ремонтират счупените кварцови системи на гравиметрите. Монтирането на счупените кварцови системи ставаше от руски специалист и обучени наши специалисти в Русия. В лабораторията бяха ремонтирани и гравиметри от други страни, като Унгария, Чехия, Югославия и Северна Кареея. Същата е снабдена с модерни термокамера и барокамера, а също и с вакуумпомпа за вакумиране на отремонтаните гравиметри. В лабораторията имаше и монтиран вибростенд, за да се изследват отремонтаните гравиметри на влиянието на вибрации /микросеизмика/. На вибростенда, гравиметърът е подложен на вибрации в продължение на 10 min, след което са взимани отчети по него в продължение на 20 min и е построяван график даден на фигура 1.



Фиг. 1. Отчети по скалата на гравиметъра в продължение на 20 min, след като 10 min преди това гравиметърът е подлаган на интензивни вибрации

Също така е използвана и специално пригодена наклономерна плоча /екзаминатор/ за еталониране на гравиметрите по метода на наклона, т.е. за определяне на техните мащабни коефициенти. В термокамерата са задавани различни температури на отремонтан гравиметър и е строена графика на температурната характеристика на гравиметъра, дадена на фигура 2.

Извършено е еталониране при различни температури на гравиметрите върху наклономерната плоча /екзми-

натора/. Средната грешка от получаване на мащабния коефициент на гравиметъра, при еталониране на екзаминатора, е $\pm 1.10^{-3}$ Gal. След това са проверявани гравиметрите и на еталонния полигон, за да се проверят мащабните коефициенти за влияние на микросеизмика от транспортирането им с кола и за влияние на различни фактори, като температура и налягане. За всеки отремонтан гравиметър е издаван паспорт.



Фиг. 2. Графика на температурната характеристика на гравиметър

Изследване и еталониране на гравиметри за геодезически цели

Със започване измерването на Държавната гравиметрична мрежа на България от "Геопланпроект", гравиметрите отначало се еталонират на отсечката Селскостопанска академия – Драгалевски манастир (Михайлов, 1989), а след това от "Геопланпроект" е създаден полигон за еталониране на гравиметри, даден на фигура 3.



Фиг. 3. Полигон създаден от "Геопланпроект" за еталониране на гравиметри

При измерването на Държавната гравиметрична мрежа, от "Геопланпроект" е извършено еталонирането на гравиметрите всеки месец на полигона и отсечката Селскостопанска академия – Драгалевски манастир (Михайлов, 1989). От РПГП град София е изработен специален екзаминатор за еталониране на гравиметрите по метода на наклона също от "Геопланпроект". Използваните гравиметри от вида ГАК и ГР/К2, са еталонирани на екзаминатора със средна грешка $\pm 1.10^{-2} - 1.10^{-3}$ Gal и след това са проверявани на отсечката Селскостопанска академия – Драгалевски манастир и на Софийския полигон.

След прехвърлянето на гравиметричните работи от "Геопланпроект" в "НИИГФ", Софийският полигон се преизмерва от руски специалисти с гравиметри ГАГ-1 и ГАГ-2 и махални прибори ОВМ. С помощта на геодезическата служба на бившия СССР и геодезическите служби на Чехия, Унгария и Полша са създадени Еталонният гравиметричен полигон Видин – Мелник и Прецизните гравиметрични ходове. Полигонът е измерен с гравиметри ГАГ-1, ГАГ-2, Шарп, Уорден и Сцинтрекс, а ходовете са измерени с гравиметри ГАГ-1 и ГАГ-2 от руски специалисти. Интересен е фактът, че при измерването на полигона Видин – Мелник с различни гравиметри от различните страни са се получили разлики в отсечката Видин – Мелник до $\pm 0,5 \text{ mGal}$ (Михайлов, 1989). Като се има предвид, че всичките им прибори от вида Шарп, Уорден и Сцинтрекс са еталонирани по метода на наклона и проверени на Международния еталонен гравиметричен полигон, гравиметрите от вида ГАГ-1 и ГАГ-2, не се нуждаят от еталониране.

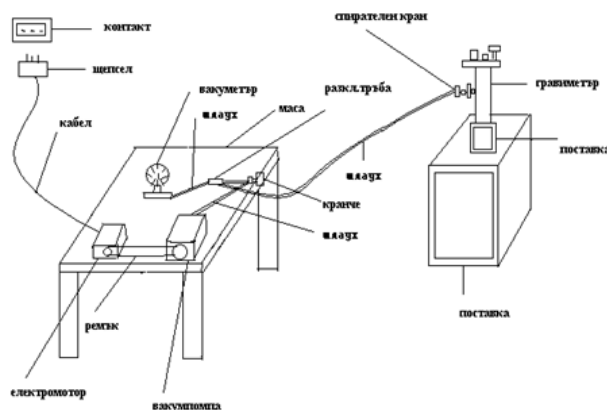
Какво прави впечатление, като се прегледат и анализират данните от измерванията на полигоните с различна апаратура, през различно време и от различни специалисти? Налице са разлики, както е подчертано по-горе, от порядъка на $\pm 0,5 \text{ mGal}$, независимо от това, че употребяваните гравиметри са еталонирани, както по метода на наклона, така и на полигон. Констатирано е, че инструменталното еталониране по метода на наклона не води до едни и същи резултати с това на полигона, обяснение, за което трябва да се търси (Михайлов, 2012). През 1983 – 1984г., е закупена руска установка за еталониране на гравиметри по метода на наклона УЕГП-1 № 95 от гравиметричната лаборатория в град Бургас, дадена на фигура 4.



Фиг. 4. Руска установка УЕГП-1 № 95 за еталониране на гравиметри по метода на наклона

Също така е закупен и руски термостат ТЕГ за нея. По-късно беше изработена за нея и Система за контрол и регулиране температурата на гравиметър от Кораборемонтния завод във Варна (Михайлов и др. 1990). Същата се вижда от фигура 4, заедно с УЕГП-1 № 95 и

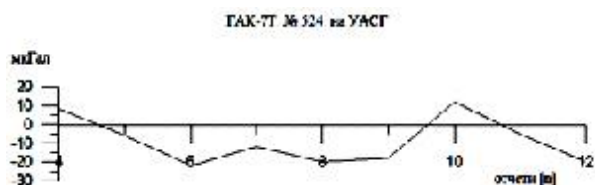
поставен готов за еталониране гравиметър. Със тази Система за контрол и регулиране температурата на гравиметър се правеха температурни изпитания на гравиметрите на НИИГФ (Tsenco et al., 2013). В НИИГФ беше направена и вакуумпомпа за вакуумиране на гравиметрите преди еталонирането им по метода на наклона с УЕГП-1 № 95 (фиг. 5). По този начин в НИИГФ беше създадена *Лаборатория за изследване и еталониране на гравиметри*.



Фиг. 5. Принципно схема на вакуумпомпа за вакуумиране на гравиметрите преди еталонирането им по метода на наклона с УЕГП-1 № 95

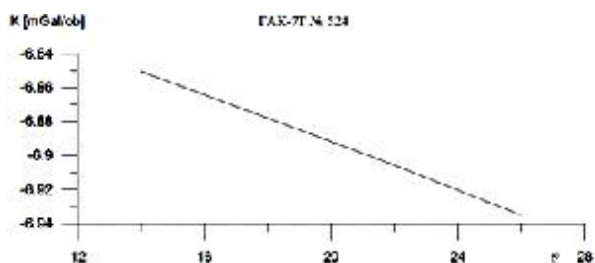
Грешката от определяне на еталонните значения на Δg , както на полигон, така и по-метода на наклона зависи от много фактори. При метода на наклона, грешката зависи от измерване ъгъла на наклона на изследвания гравиметър. Затова през всеки 2 години беше извършвано изследване на отчетното устройство на установката (Михайлов, 1993). Средната грешка от измерване ъгъла на наклона с установката се колебае около $0,23''$. Според предприятието производител, тази грешка трябва да варира от $0,10''$ до $0,40''$. От голямо количество изследвания и еталонирания на гравиметри в НИИГФ на УЕГП-1 №95 (Михайлов, 1991), относителната грешка за определяне на мащабните коефициенти на гравиметрите в България е $\pm 1.10^{-4} \text{ Gal}$, т.е. еталонното значение на нарастването на силата на тежестта Δg , да е с точност $\pm 10 \mu\text{Gal}$ (Михайлов, 1993). На Видинския полигон, при еталонирането на гравиметри от Рукавишников и Михайлов беше получена относителна грешка от определяне на мащабните коефициенти от порядъка на $\pm 1.10^{-5} \text{ Gal}$, обаче с руската установка УЕГП-2 на ИФЗ АН СССР.

Грешката от определяне на Δg на еталонен полигон зависи от много фактори: от качеството на гравиметрите използвани за определяне на еталонните Δg на полигона, от правилно определяне на мащабния коефициент във физически единици, от влияние върху приборите на температура, вибрации, нелинейност на нулевата точка. От много изследвания и експериментирания се установи, че и по двата метода на еталониране могат да се получават почти еднакви резултати в рамките на точността за мащабните коефициенти. За целта температурите на еталониране и по двата метода да са еднакви и нелинейностите на отчетните скали да са в допустимите граници. Примерен график с нелинейности на скалата на гравиметър е даден на фигура 6.



Фиг. 6. График, показващ нелинейност на скалата на скалата на гравиметър

График с мащабните коефициенти на същия гравиметър, определени при три температури на УЕГП-1 № 95, е даден на фигура 7.



Фиг. 7. График с мащабните коефициенти на същия гравиметър, както на фигура 6, определени при три температури на УЕГП-1 № 95

В Таблица 1 са дадени мащабните коефициенти на гравиметри, еталонирани на полигон и по метода на наклона при еднакви температури (Михайлов и Бахчеванов, 1990).

Таблица 1.

Еталониране на гравиметри по различни методи

Гравиметър	Температура, при която е еталониран гравиметърът	K, определен по метода на полигона	K, определен по метода на наклона
ГAK-7T № 689	14 C°	$K_{14}^0 = -6,3558$	$K_{14}^0 = -6,3562$
ГР/K2 № 1514	15 C°	$K_{15}^0 = -5,9829$	$K_{15}^0 = -5,9833$
ГAK-7T № 524	18,5 C°	$K_{18,5}^0 = -6,8507$	$K_{18,5}^0 = -6,8511$

Заклучение

Според някои автори (Войтенко, Минекес, 2007) основните причини, по които еталонните полигони са непригодни за точни определения на мащабните коефициенти на гравиметрите, са следните:

1/ На тях е невъзможно да се обезпечи технологически /температурен/ режим на еталониране, т.е. невъзможно е да се обезпечи постоянна температура на приборите в течение на целия период на еталонировъчните рейсове.

2/ Не е възможно на тях да се определи детайлно нелинейността на отчетните скали на гравиметрите.

3/ В измерените значения на Δg между точките от полигона, присъства псевдогравитационна съставляща,

която е невъзможно да се отдели от гравитационния сигнал. Тя може да превиши инструменталната грешка на гравиметъра. Тази съставляща няма никакво отношение към гравитацията. Тя е предизвикана от въздействието на ендеогенни микросейзмични вълни на чувствителната система на гравиметъра в момента на измерване.

След ликвидирането на гравиметричната лаборатория в гр. Бургас след 1989г. и след ликвидирането на лабораторията за изследване и еталониране на гравиметри в НИИГФ края на 2003 г., единствен начин за еталониране на гравиметри в България остава полигоновият. Част от Софийския еталонен гравиметричен полигон и новосъздадената Калибровъчна линия на БАН София-Симеоново-Бистрица-Железница-Плана са измерени през 2004 и 2007г. с компютризиран гравиметри Scintrex CG-3 и Scintrex CG-5 от Белгийски специалист. За сега на тези отсечки става изследването и еталонирането на гравиметрите в България.

Литература

- Войтенко, В. А., Р. Э. Минекес. Современные проблемы метрологического обеспечения статистических гравиметров. – *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2, т. 4, 2007. - 143-147.
- Козякова, К. А., В. А. Романюк, Р. Б. Рукавишников и др. *Эталонирование гравиметров методом наклона*. М., Наука, 1979. - 206 с.
- Михайлов, Е. Еталониране на гравиметри ГР/K2 и ГAK по метода на наклона. – *Геодезия, картография, земеустройство*, 10, 1989. - 15-17.
- Михайлов, Е. Методика за еталониране на гравиметри по метода на наклона на УЕГП-1 № 95, София – ФНИТ „ГиФ“ (одобрена от Български институт по метрология за изследване на гравиметрите от системата на ГУГКК). 1991.
- Михайлов, Е. Резултати от промяна мащабните коефициенти във времето на статичните кварцови гравиметри използвани в Република България. – *Геодезия, картография, земеустройство*, 5-6, 2012. - 21-23.
- Михайлов, Е., Бахчеванов, Д. Система за контрол и регулиране на температурата на гравиметър. – *Геодезия, картография, земеустройство*, 3, 1990.
- Михайлов, Е., Р. Радичев. Гравиметрични измервания в България за периода от 1926 до 2011 година. – *Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“*, т. 54, св. I, Геол. геоф. 2011. - 145-151.
- Tsenkov, T., E. Mihaylov. Study the dependence of the rate of division of quartz gravimeters the influence of temperature – *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, Vol. 7, Part 4, 2013. - 86-93.

Статията е рецензирана от гл. ас. д-р Християн Цанков и е препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".