

## ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕЛЕКТРОННИТЕ НИВЕЛИРИ И СТАТИЧНИТЕ ГРАВИМЕТРИ ПРИ ИЗМЕРВАНИЯТА НА ВИСОКОТОЧНАТА НИВЕЛАЦИЯ I И II КЛАС НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

**Ради Радичев<sup>1</sup>, Емил Михайлов<sup>2</sup>, Атанас Кисъев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail : [radirad@mgu.bg](mailto:radirad@mgu.bg), [at.kisyov@gmail.com](mailto:at.kisyov@gmail.com)

<sup>2</sup> Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, 1113 София, [emil\\_mih@abv.bg](mailto:emil_mih@abv.bg)

**РЕЗЮМЕ:** В публикацията е показано, че трябва да се обърне по-голямо внимание на измерванията, извършвани с електронни нивелири и штрих-кодovi лати по линиите на държавната нивелация I клас. Споменава се, че съществуващият в България компаратор за еталониране на цифрови лати не е пригоден за штрих-кодovi лати. Необходимо е електронните нивелири и штрих-кодovi лати да се изпращат за компариране в страни, които имат интерференчни компаратори. Инструкцията по Нивелация I и II клас от 1980 г. е направена за оптични нивелири и цифрови лати, а не за електронни нивелири и штрих-кодovi лати. Извършването на гравиметрични измервания по нивелачни линии може да става с наличните в България гравиметри, които могат да осигурят точност под  $\pm 0,300$  mGal на „g“ при еднократна методика на измерване с контролни точки.

### USE OF ELECTRONIC LEVEL GAUGES AND STATIC GRAVIMETERS WHEN MEASURING HIGH ACCURACY LEVELING CLASS I AND II OF THE REPUBLIC BULGARIA

**Radi Radichev<sup>1</sup>, Emil Mihaylov<sup>2</sup>, Atanas Kisyov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, [radirad@mgu.bg](mailto:radirad@mgu.bg), [at.kisyov@gmail.com](mailto:at.kisyov@gmail.com)

<sup>2</sup> National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, BAS, 1113 Sofia, [emil\\_mih@abv.bg](mailto:emil_mih@abv.bg)

**ABSTRACT:** This publication shows that more attention should be paid to the measurements carried out with electronic leveling and **outline-code** battens on the lines of the state leveling I class. It is mentioned that the existing comparator in Bulgaria for calibration of digital battens is not suitable for **outline-code** battens. Electronic leveling and **outline-code** battens need to be sent to **comparison** in countries that have interference comparators. Instructions on Levelling I and II class from 1980 are made for optical leveling and digital battens, not electronic level gauges and **outline-code** battens. Performing gravimetric measurements based on leveling lines can be done with the available gravimeters in Bulgaria, which can provide accuracy within  $\pm 0,300$  mGal of "g" with a single method of measurement of control points.

## 1. Въведение

Бързото развитие на информационните технологии в различните отрасли на знанията през последните години засягат, както всички области така и геодезията и геофизиката. Измерването на дължини в миналото с ролетки и инварни жици се замени с радио и светлодалекомери. Мензулата и теодолитът се замениха с електронни тахиметри (Забагонский, 2012). Махалните абсолютни гравиметри се замениха с балистичните абсолютни гравиметри, а статичните гравиметри - с компютризирани гравиметри. Но все пак заради ограничената дейност на гравиметрията за геодезически, геофизични и геоложки цели, а също и заради високата цена на компютризираните гравиметри, статичните гравиметри още могат да бъдат използвани в геодезията и геофизиката. При многократни измервания с тях и по-голям брой гравиметри, точността им е много близка до точността от многократни измервания с компютризирани гравиметри (Радичев и др., 2013а). Появяването на GPS системите направи революция в теорията и практиката на геодезическите измервания. Създаването на електронните

нивелири през 90те години на миналия век спомага за навлизането на нивелацията в нова ера. Особеност при тези нивелири се явява отчитането на информацията по електронен път от кодирани лати и записването и върху вътрешната памет на нивелира, като по-късно същата се предава за по нататъшна канцеларска обработка на персонален компютър. За да се обезпечи изискваната точност и надеждност на резултатите от нивелирането, получени от измерителната система „цифров нивелир + штрих-кодova лата“ е необходимо да се провежда периодичното ѝ атестиране. Приложението на системата „оптически нивелир-лата“, с използване на нивелир с визуални отчети и штрихова инварна лата, при която изследването се изпълнява отделно за нивелира и латата при системата „цифров нивелир + штрих-кодova лата“ е много сложно изследването и е неприемливо. То се обуславя от това, че штрих-кодovата лата няма метрична скала сравнително нанесена с деления през 5 или 10 mm. и затова за изследването ѝ не трябва да се използва женеvската линия или стандартните оптико-механични компаратори. При процеса на отчитане с цифровия нивелир вземат участие не два съседни штриха от латата, а последователност от много штрихи с различна ширина. Да

се изпълнят изследванията разделно за цифровия нивелир и штрих-кодовата лата може само в специализирана лаборатория. При този случай за изследване на цифровия нивелир е необходимо да има еталонна штрих-кодова мярка, положението на штрихите, на която съответствува на теоретичните им значения. *За изследване фактичестото положение на отделните штрихи от кода само за штрих-кодовите лати и сравняването им теоретичните значения се прилагат вертикални или хоризонтални интерференчни компаратори* (Уставич и Ямбаев, 2013). В производството голяма част от частните фирми и сдружения закупуват електронни нивелири, но няма нормативна уредба, определяща реда на работите с този тип инструменти.

## 2. Използване на оптичните /механични/ и на електронните нивелири при високоточна нивелация I и II клас

**2.1 Оптични нивелири и цифрови лати.** Методите на работа, описани в Инструкцията за нивелация I и II клас издание на ГУГКК от 1980 г. са за оптичните /механичните/ нивелири. Тези методики на измерване са ориентирани за борба с грешките, болшинството, от които в електронните /компютризираните/ нивелири отсъстват. Разбира се на резултатите започват да влияят систематичните грешки. При работа в производствени условия с електронните нивелири се получават несвързки, допустими формално, но с преобладаващо количество с един знак (Забагонский, 2012). При оптичните /механичните/ нивелири имаме по-просто устройство. Затова при тях не е трудно да се открият грешките от конструиране на приборите и да се отстранят чрез вкарване на поправки. При оптичните нивелири въвеждаме поправки за различие в температурата на латите при еталонирането им на компаратора и при нивелиране в полски условия, а също така поправка за средна дължина на метъра на комплекта лати от номиналния. Затова можем да кажем, че тези измервания са по достоверни. Еталонирането на оцифрованите лати в България се извършва на компаратора на НИГИФ –ЕООД.

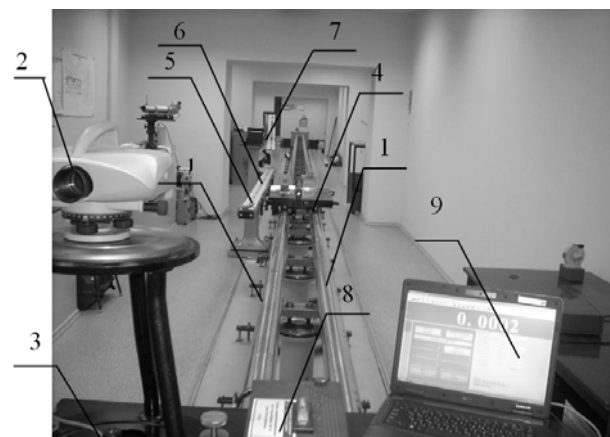
**2.2 Електронни /компютризираните/ нивелири и кодирани лати.** Производителите на електронни нивелири не разкриват до край своите тайни относно точността на техните изделия, заради тяхната висока цена (Забагонский, 2012). Тези нивелири и лати се еталонират от завода производител, където се въвеждат и поправки в програмите на измерване и всичко това се държи в тайна. Затова всеки производител има своята информация за произведените изделия, като я пази в тайна. Изследванията на съвременните геодезически инструменти показват, че точността на измерванията с електронните нивелири се определя, както от грешката на самия нивелир, така и от качеството на штрихите на кодовите лати (Забагонский, 2012). Или образно казано, кодът нанесен на латата трябва да може точно да съвпада със своя теоретичен модел. При отчитане с електронните нивелири върху кодовите лати взема участие последователност от много штрихи с различна дебелина. Затова традиционните методи по действащата инструкция на

ГУГКК не са валидни тук. Има два метода за проверка на високоточни штрих-кодови лати (Забагонский, 2012):

1) проверка положението на отделните штрихи в кода и тяхната ширина;

2) оценка точността на измерителната система „цифров нивелир + штрих-кодова лата“ по пътя на сравняване разликите в отчетите, взети по латата с електронния нивелир, с еталонните разлики получени с помощта на лазерен интерферометър.

За тази цел се използват специални скъпоструващи хоризонтални или вертикални интерференчни компаратори. Те позволяват да се извършват измервания със средна квадратна грешка по малка от 0,01 mm. С тях се прави калибриране /еталониране/ на системата „цифров нивелир + штрих-кодова лата“. На фиг.1 е даден такъв хоризонтален интерференчен компаратор. За предпочитане е да се използват вертикални компаратори, тъй като латата се намира в работно положение. Компаратори за еталониране на електронни /цифрови/ нивелири с кодови лати има в МИИГАиК /Русия/, Техническият университет Мюнхен /Германия/, Финландския геодезически институт /FIG Финландия/ и Стеиндорския център за линеен ускорител /SLAC, САЩ/ (Забагонский, 2012). Тези компаратори са уникални и с висока цена.



Фиг. 1. Външен вид на хоризонтални интерференчен компаратор за проверка на системата „цифров нивелир + штрих-кодова лата“

1 – направляващи релси на лазерния интерференчен компаратор; 2 - цифров нивелир Leica DNA – 03; 3 - поставка; 4 – превоз с подаване и ъглов отражател с мишена; 5 - кодова лата Leica GPSL 3; 6 - микроскоп; 7 - огледало; 8 - лазерен интерферометър модели ML 10 GOLD от фирмата RENISHAW; 9 - интерфейс набор DX 10 USB с бележник

**2.3 Експерименти от извършването на измервания с електронни и оптични нивелири.** Около Кремъл е създадена нивелачна мрежа I клас за следене деформациите на паметниците в един цикъл на наблюдения. Повтарянето на тези кодове в разни цикли от измерване се оказва невъзможно. Наблюденията са изпълнени с електронни нивелири Leica по нормите на Гостстрой (Федосеев, 2012). Резултатите от изчисляване на първите два цикъла на измерване са показали, че получените точности на параметрите на изравнената мрежа и намерените в по-малките полигони несвързки съответстват на нормативните документи. Щателният анализ на резултатите от изравнение е открил, че всички несвързки в малките полигони /с малки изключения/ имат

един и същи знак, което говори за наличие на систематични грешки. Това се е потвърдило и от изчисленията на големите полигони, значенията на несвързките, на които превишават 2-3 пъти допустимите стойности (Федосеев, 2012). Същите резултати се получават и от преизмерването на Държавната нивелачна мрежа I клас за територията на Република България. Същото преизмерване се извършва отначало от „Геопланпроект“, а по-късно, съгласно Закона за Геодезията, от частни фирми закупили различни видове електронни нивелири. При всички нивелачни измервания, извършвани с електронните нивелири от 1995 до 2008 г., имаме по-големи систематични грешки, като допускът на сключване при четири полигона измерени от частните фирми е по голям от допустимия. При двата полигона VI и VII сключването е с еднакъв знак, което говори за наличието на систематични грешки. Извършените нивелачни измервания от „Геопланпроект“ през предходните години с електронни нивелири също дават по-големи систематични грешки. Еталонирването на кодираните лати и изследването на електронните нивелири са извършени на компаратора на НИГ иФ – ЕООД и на полигона за изследване на нивелири в кв. Павлово – гр. София. Компараторът и полигонът са създадени за изследване на оцифрените лати и оптичните /механичните/ нивелири. Експерименталните измервания, извършвани от нивелаторите на „Геопланпроект“ показват, че при измерване на нивелачна линия в прав ход с електронен нивелир и повторното ѝ преизмерване в обратен ход с оптически нивелир се получават по-големи разлики от допустимите по Инструкцията за нивелация. Ако измерването на нивелачни линии, право и обратно, се извършва само с електронни нивелири или само с оптични нивелири, то разликите са допустими съгласно Инструкцията за нивелация.

### **3. Използване на статичните гравиметри при гравиметрични измервания по нивелачни линии I и II клас.**

При изчисляване на надморските височини в Балтийска система, а сега и при преминаване във височинна система Амстердам (Ценков и др., 2011; Радичев и др., 2013б) на реперите от държавната нивелация, е необходимо към измерените стойности на превишенията да се прибавят гравиметрични поправки (поправки за непаралелност на нивоповърхнините на нормалното гравитационно поле и поправки за разлика между действителното и нормалното гравитационно поле). Обединената европейска нивелачна мрежа (UELN), в която участва и Република България беше изравнена, като окончателен резултат са получени нормални височини и геопотенциални коти (Ценков и др. 2011). Геопотенциалната кота се получава по данни от геометричната нивелация и от гравиметричните измервания по реперите. При гравиметрични измервания по нивелачни линии, най-производителна е методиката на еднократни измервания с контролни точки. Обикновено, измерванията по тази методика се извършват с два статични гравиметъра за по добър контрол на резултатите. Такива са гравиметрите от вида ГАК, ГР/К2, ГНУ-КС или ГНУ-КВ, които са на разположение в Република България. Тези гравиметри са нетермостатирани и мащабните им

коэффициенти зависят от температурата, атмосферното налягане и скаловите им поправки. Същите имат по-голямо изместване на нулите в сравнение с гравиметрите La Coste @ Romberg и Scintrex CG-3 и CG-5.

**3.1. Изместване на нулата на употребяваните в България кварцови гравиметри.** Действителното изместване нулите на гравиметрите има сложен характер и не може да бъде прогнозирано напълно. Вълнообразното изменение на нулата на гравиметрите, с време даже по малко от един час, е обусловено от процесите на поляризация на кварцовата система. Замяната на вълнообразната линия на изместване на нулевата точка с права, както се практикува в гравиметрията, е приблизително и довежда до понижаване точността на резултатите при високоточни гравиметрични снимки. Точността при еднократни наблюдения е по-ниска отколкото точността при многократни измервания за горепосочения тип гравиметри. Обикновено наблюденията с различни статични гравиметри са съпроводени с големи систематични разхождания на резултатите между тях. Понеже наблюденията с двата гравиметъра се провеждат по едно и също време и при едни и същи условия, разликите имат систематичен и случаен характер и са свързани с техническите особености на приборите и с микросеизмиката, създавана от движещите се превозни средства (Ценков и др. 2011). Разликите между приборите са обусловени и от криволинейното изместване на нулите им и от колебание на мащабните коефициенти на отчетните устройства от транспортиране на гравиметрите.

**3.2. Използване на гравиметри от вида ГАК-7Т, ГР/К2, ГНУ-КВ и ГНУ-КС за гравиметрични снимки в Република България.** Тези гравиметри може да се прилагат за детайлни, регионални и маршрутни /профилни/ снимки с разстояния между точките от десетки метри до 10-15 km. и повече. Средната им грешка на измерване се колебае от  $\pm 0,030$  до  $\pm 0,060$  mGal, а при гравиметър ГНУ-КВ тя е до  $\pm 0,030$  mGal (Михайлов, 1998; Михайлов и Радичев, 2011). Най-добре е еталонирването на тези гравиметри да се прави преди започване на гравиметричните измервания и след завършването им, т.е. два пъти, понеже не се знае какво е състоянието на вакуума при кварцовите им системи. А както се знае липсата на вакуум в кварцовата система води до изменение на мащабния коефициент. Гравиметрираните нивелачни линии, се привързват към точките от Еталонната гравиметрична мрежа на Република България, която е привързана към базисната мрежа от абсолютни точки (UEGN 2002) (Милев и др., 2005, 2008). Преди да бъде създадена базисната мрежа от абсолютни точки, Еталонната гравиметрична мрежа беше привързана към двете абсолютно измерени точки в София и Варна с гравиметъра ГАБЛ от руски експедиции през годините 1982, 1983 и 1986 (Михайлов, 1998).

## **4. Изводи**

От всичко казано по горе в публикацията могат да се направят следните изводи:

4.1. При измерване на държавната нивелация I и II клас от фирмите изпълнители на тази дейност с електронни нивелири е необходимо същите да се изпратят за изследване и еталониране /компарирание/ в някоя от горепосочените държави, където има интерференчни компаратори. Като пример ще посочим, че в миналото инварните жици на НИГиФ /ГУГК/ и ВТС се компарираха на компаратора на МИГАиК в Москва.

4.2. Другият вариант е преизмерването на останалата част от Държавната нивелация I клас, която е повечето в планински райони, да става с оптичните нивелири Ni 002 и Ni 007, като визуирите с Ni 007 да са до 25 метра. Еталонирането /компарирането/ на латите да става на компаратора на НИГиФ – ЕООД.

4.3. Следващ вариант е резултатите от измерванията, извършени с електронни нивелири и кодови лати, да бъдат изравнявани със специално разработени за тях програми, при които да се елиминират систематичните грешки. Такива програми има разработвани в Русия, но не се знае доколко ще са достоверни резултатите след изравнение с тях.

4.4. Гравиметричните измервания по нивелачните линии в Република България може да се извършват и със статичните гравиметри, намиращи се на разположение в Република България. Същите измервания да се извършват с два гравиметъра за намаляване на систематичните грешки и по еднократна методика с контролни точки, като броят на контролните точки да е по-голям. Времетраенето на всеки гравиметричен рейс да е около 1 до максимум 2 часа. С наличните в България гравиметри е възможно постигането на точност под  $\pm 0,300$  mGal, по еднократна методика с контролни точки за g. По-добри гравиметри за тази работа има на брой 4 в МГУ „Иван Рилски“, 1 в УАСГ, 1 в „Геохайт“ и „ВГС“ и 1 в НИГиФ – ЕООД.

## Литература

Милев, Г., Д. Руес, К. Улрих, К. Василева, Л. Стоянов, Т. Вълев, Е. Михайлов, Н. Димитров. 2005. Абсолютни измервания и гравиметрична система на България. - ГКЗ, 5-6, 2005, 10-17.

Милев, Г., Г. Вълев, К. Василева, Е. Михайлов. 2008. Национална гравиметрична мрежа на България – ГКЗ, № 5-6, 2008, 4-8.

Михайлов, Е. 1998. Анализ на еталонната гравиметрична мрежа на Република България. - *Годишник на УАСГ*, свитък III, Геодезия и земеустройство.

Михайлов, Е, Р. Радичев. 2011. Гравиметрични измервания в България за периода 1926 до 2011 г. - *Год. МГУ „Св. Иван Рилски“*, том 54, св.1, Геология и геофизика, 143-150.

Радичев, Р., Е. Михайлов, Н. Кирилов. 2013а. Методика на наблюденията при профилни гравиметрични снимки по линии от Държавната нивелация на Република България. - *Год. МГУ „Св. Иван Рилски“*, Свитък 1, Геология и геофизика, Том 56, 1, 141–144.

Радичев, Р., Е. Михайлов, Ат. Кисьов. 2013б. Гравиметрични поправки и фактори, влияещи на високоточните измервания силата на тежестта. - *Год. на МГУ „Св. Иван Рилски“*, Свитък 1, Геология и геофизика, Том 56, 1, 145–149.

Забагонский, С.А. 2012. *Применение электронных нивелиров при высокоточных измерениях*. Минск, Белаерокосмогеодезия, [geo.by/23-application-for-electronic-levels-pre](http://geo.by/23-application-for-electronic-levels-pre).

Уставич, Г.А., Х. К. Ямбаев. 2013. Методика проведения внеочередной поверки системы „цифровой нивелир + штрих-кодовая рейка“. - *Известия ВУЗ*, раздел Геодезия и аерофотосъёмка, бр.6, 8–13.

Ценков, Ц., Т. Беляшки, Е. Михайлов. 2011. Получаване на гравиметричните поправки по линии от държавната нивелация на Република България. – *Доклад на XI международна научна конференция ВСУ „Любен Каравелов“ от 2 до 3 юни 2011*, София, Том II, VI-13 - VI-18.

Федосеев Ю.Е. 2012. *Применение цифровых нивелиров для высокоточных работ: теория, практика, проблемы*. [www.geodinamika.ru/.../using\\_digital\\_level.pdf](http://www.geodinamika.ru/.../using_digital_level.pdf)

Статията е рецензирана от проф. дгн Петър Ставрев и препоръчана за публикуване от кат. „Приложна геофизика“.