

*Получена: 22.12.2017 г.*

*Приета: 28.05.2018 г.*

## СЪВРЕМЕННА ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ГРАВИМЕТРИЧНИ МЕТОДИ ЗА ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА АНОМАЛНИ ОБЕКТИ В УРБАНИЗИРАНИ ТЕРИТОРИИ

С. Джорова-Маринова<sup>1</sup>, Й. Емилова<sup>2</sup>

*Ключови думи: гравиметрия, аномално тяло, обратна задача в теорията на потенциалата*

### РЕЗЮМЕ

Описани са възможностите на съвременните гравиметрични методи за откриване на местоположението на дълбочинно разположени кухини и обекти с плътност, различна от тази на заобикалящата ги среда. Направените интерпретации на получените гравиметрични аномалии и моделите с изолинии позволяват да бъдат получени оценки за дълбочината и формата на аномалните тела. Обосновани са предимствата на приложението метод, анализирани са неговите качества и възможности за оптимизиране. Заключениета са подкрепени с пример от реален обект – участък от Софийското метро.

### 1. Въведение

Благодарение на технологичния прогрес, предметът на гравиметрията непрекъснато се разширява и развива с годините. Прилагането на съвременните гравиметрични методи в практиката позволява да бъде описано разпределението на силата на тежестта по повърхността на Земята, обусловено от разпределението на земните маси в дълбочина. По този начин, посредством регистрацията на силата на тежестта се търси решение на въпроси, свързани с локализиране на аномални тела с различни геоложки характеристики.

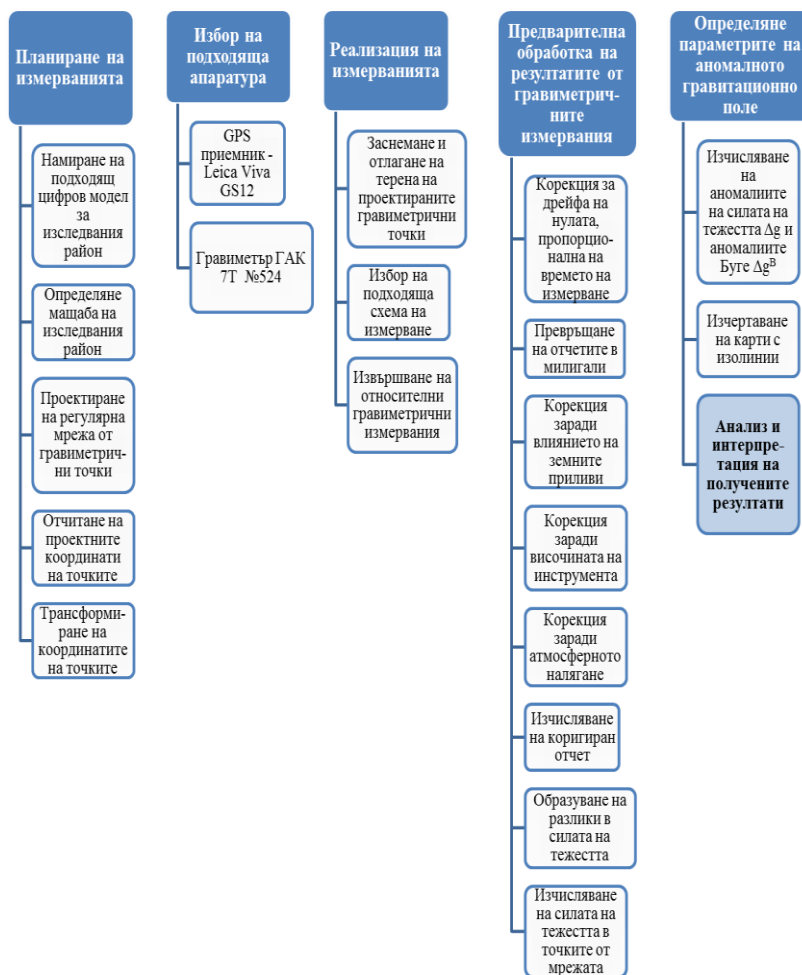
---

<sup>1</sup> Северина Джорова-Маринова, гл. ас. д-р инж, кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: severina\_djorova@abv.bg

<sup>2</sup> Йоана Емилова, инж, кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ioana\_e@abv.bg

Определянето на местоположението на дълбочинно разположените аномални маси е частен случай на решение на обратната задача в теорията на потенциала, известна още като обратна задача на гравиметричното проучване. Същността на тази задача се състои в определяне на параметрите на смущаващите тела въз основа на характеристиките на дефинираното от тях гравитационно поле. Целта на проведеното изследване е да се анализират параметрите на полето и по-точно изменението на това поле чрез прилагане на комбинация от ГНСС и гравиметрични измервания. Измерванията са реализирани в участък, под който са проектирани и построени метростанция, подлези и тунел (участък от Софийското метро), аномални тела, които евентуално биха смутили полето на аномалиите. Описани са етапите на проектиране, реализация и обработка на измерванията. Детайлно са анализирани и визуализирани получените резултати. Доказана е ефективността и актуалността на приложения подход.

## 2. Планиране и реализация на измерванията



Фиг. 1. Планиране, реализиране и обработка на гравиметричните измервания

Етапът на планиране, реализация и последваща обработка на получените измервания е показан схематично на фиг. 1.

Върху карта в мащаб 1:1000 е проектирана гравиметрична мрежа от седемдесет и четири точки със средно разстояние между тях двадесет и пет метра. Точките са разположени сравнително равномерно една спрямо друга, като е съобразено да не попадат върху уличното платно, оста на булеварда, локалното платно, подлезите, както и други ситуационни обекти. Отчетени са координатите на проектираните точки от гравиметричната мрежа, след което са трансформирани в координатна система БГС 2005.

Заснемането и отлагането на терена на проектираните гравиметрични точки е извършено с GNSS приемник Leica Viva GS12 в режим Real Time Kinematik (RTK). Относителните гравиметрични измервания са извършени по предварително избрана схема, като за целта е използван кварцов астазиран гравиметър ГАК 7Г. Направено е привързване с точка с известна стойност на силата на тежестта, определена по абсолютен метод.

### 3. Предварителна обработка на получените резултати

При обработката на получените резултати от измерванията е спазена последователността, представена на фиг. 1. Във всяка една станция са поставени по три последователни отчета, на базата на които е изчислена една средноаритметична стойност означена с  $\bar{O}_i$ . Определено е изместването на нулата на скалата на инструмента ( $U_i$ ). На база на приложената схема на измерване е получена средно тежестната стойност на дрейфа [1, стр. 93-95]. За целта е използвана формула:

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1)$$

където  $P_i$  е тежест на  $i$ -тото измерване,  $\bar{U}_i$  е средно тежестната стойност на дрейфа.

С така получената стойност  $\bar{U} = 0,0018$  деления/мин са пресметнати коригираните отчети:

$$\begin{aligned} O_1^{corrected} &= \bar{O}_1 - \bar{U} \\ O_2^{corrected} &= \bar{O}_2 - \bar{U}(t_1 - t_0), \end{aligned} \quad (2)$$

където  $t_i$  е времето, в което са поставени съответните отчети;

$t_0$  – началото на гравиметричния рейс.

Коригираните отчети са калибрирани с помощта на предварително изведената константа на гравиметъра  $K = -6,8496$ . Отчетено е влиянието на земните приливи и е нанесена корекция заради височината на инструмента. Използвана е зависимостта [1, стр. 87]:

$$\delta O_{elevation} = -0,3086 h_{instr}, \quad (3)$$

където  $h_{instr}$  е измерената височина на инструмента, взета в метри.

По време на гравиметричните измервания атмосферното налягане варира в определен диапазон, което налага и въвеждането на едноименната корекция:

$$\delta O_{pressure} = 0,3(p - p_n), \quad \mu\text{Gal}, \quad (4)$$

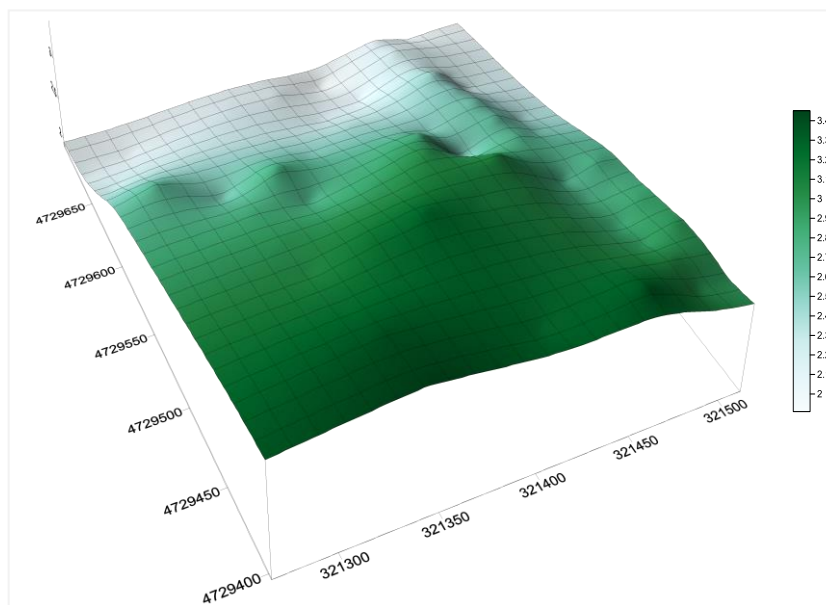
където  $p$  е отчетеното атмосферно налягане в станцията в hPa ;

$p_n$  – изчислено нормално налягане в станцията, изчислено за международна стандартна атмосфера DIN 5450.

След нанасяне на всички корекции са получени и окончателните отчети, с помощта на които са пресметнати разликите в силата на тежестта между точките.

$$O_i^{FINALcorrected} = O_i + (\delta g^{Tides}) + (\delta O_{elevation}) + \left( \frac{\delta O_{pressure}}{1000} \right) - \bar{U} \Delta t. \quad (5)$$

Изчислени са аномалиите на силата на тежестта  $\Delta g$  и аномалиите Буге. Интерполацията на полето на аномалиите е реализирана посредством софтуерния продукт Surfer. Двумерното и тримерното представяне на повърхнината на аномалиите Буге са представени на фиг. 2 и фиг. 3.

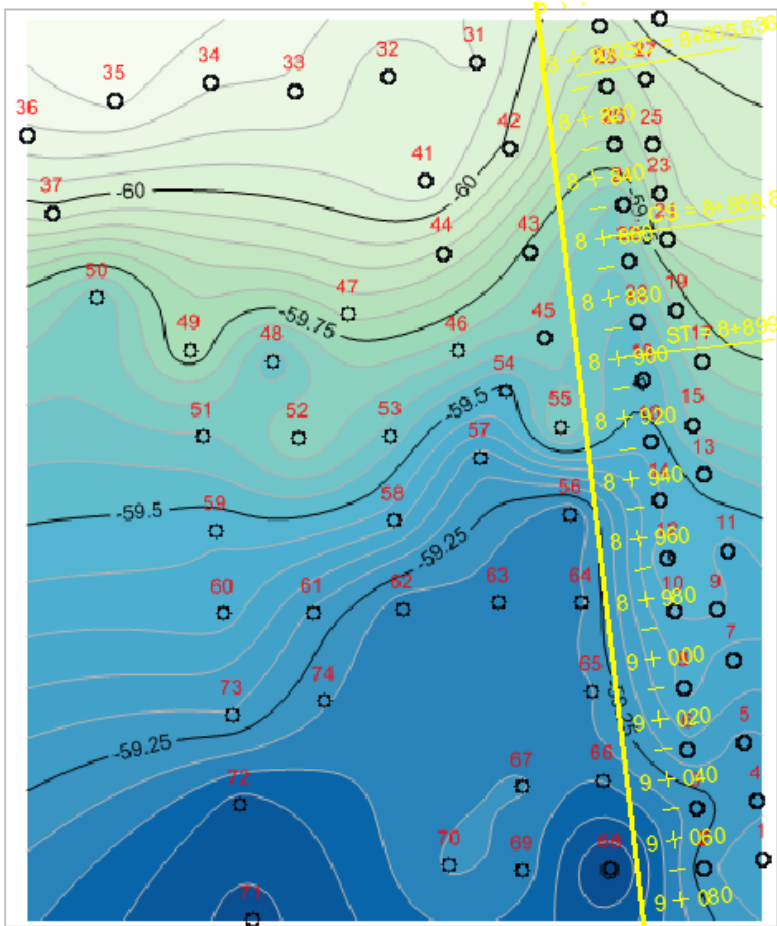


Фиг. 2. 3D визуализация на аномалия Буге

#### 4. Анализ и интерпретация на получените резултати. Изводи

Графичните еквиваленти на аномалното поле, представени на фигурите, показват по недвусмислен начин една ясно обособена зона на занижени стойности на аномалиите по протежение на уличното платно на бул. „Черни връх“. Като предполагаема причина за този факт може да се изтъкне именно наличието на аномално тяло с по-ниска плът-

ност от заобикалящата го среда (напр. кухня, тунел). В доказателство на това твърдение идва и нанесената ос на трасето на тунела, свързващ метростанции „Европейски съюз” и „НДК”. Изпълненото трасе на метрото минава точно под уличното платно на булеварда (фиг. 3). Друга предполагаема причина за наличието на обособен минимум на аномалното поле в този участък е липсата на реализирани гравиметрични измервания непосредствено по уличното платно.



Фиг. 3. 2D визуализация на аномалия Буге с нанесена ос на трасето

Успоредно с това се наблюдават и ясно обособени екстремуми на аномалното поле, разположени от двете страни на оста на тунела. На фиг. 2 ясно се вижда, че те наподобяват своеобразни „хребети”, дефиниращи аномално тяло с по-висока плътност (напр. бетонни, шлицови стени и др.), открояващи габарита на тунела. В лявата част стойностите на получените аномалии са много по-отчетливи, което доказва, че смущаващото тяло се намира в непосредствена близост до точките.

В дясната част (точки: 2-3-6-8-10-12-...-28) се наблюдава изменение на получените стойности на аномалиите в по-тесен диапазон, което най-вероятно се дължи на факта, че проектираните точки от мрежата са отдалечени на по-голямо разстояние от смущаващия обект (средно около 17 m от оста на тунела).

Рисунъкът на получените изолинии съответства на разположението и формата на наличното аномално тяло. Своеобразното „понижение” на изолиниите над точка 55, (фиг. 3) би могло да е породено от намиращия се наблизо подлез на метростанция „Европейски съюз”, както и от наличието на друго аномално тяло („кухина”) непосредствено под проектираната точка. Точката се намира в близост до отдушници (фиг. 4).

Наблюдават се и ясно обособени максимуми на повърхнината на аномалиите Буге с центрове: т. 50 и т. 48, както и своеобразни минимума – съсредоточени около т. 49 и т. 52. – фиг. 3. Отчетените екстремуми се намират в непосредствена близост до хотел „Хилтън”. Като предполагаема причина за констатираните стойности може да се изтъкне именно наличието на подземен паркинг на хотела, което само по себе си води до формиране на локални екстремуми на полето на аномалиите.

Като заключение може да се отбележи, че наличието, както на положителни, така и на отрицателни аномалии е доказателство за съществуването на аномално тяло/аномални тела с различна плътност от заобикалящата го среда (напр. подземен паркинг, тунел – аномално тяло с ниска плътност; подпорни стени – аномално тяло с по-висока плътност и т.н.).



**Фиг. 4.** Снимка на съществуващите отдушници близо до точка 55

В резултат на това получените резултати, независимо от сравнително малката по площ изследвана територия, показват по недвусмислен начин приложението и ефективността на предложения метод. За изследвания върху обширни участъци или за участъци с големи превишения е препоръчително да се използват предимно широкодиапазонни гравиметри, и да се приложат по-усложнени схеми на измерване, позволяващи надеждното определяне и елиминиране на дрейфа на нулата на гравиметъра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Господинов, С., Пенева, Е., Беляшки, Т., Димитров, Д., & Михайлов, Г.* Гравиметрични дейности за целите на геодезията в Република България. // Годишник на Университета по архитектура, строителство и геодезия, том XLIII, София, 2009.

2. *Джорова-Маринова, С.* Интегриран подход при едно частно решение в теорията на потенциала. София, 2014.

3. *Зидаров, Д.* Обратна гравиметрична задача в геопрочуването и геодезията. София, 1984.

4. *Ламбева, Т.* Приложение на робастни методи при оценка на гравиметрични мрежи. София, 2015.

5. *Михайлов, Е., Димитър, Д., Стоянов, Л., Еверхард, М.* Сравнителен анализ на резултати от измервания с компютризиран гравиметър Scintrex CG-5 и гравиметър ГАК-7Т № 524 в Чирпанския район. София, 2010.

6. *Славова, Т.* Локализиране на дълбочинно разположени кухини посредством гравиметрични методи. София, 2015.

7. *Стойнов, В. П.* Физическа геодезия. София, 1974.

8. *Стойнов, В. П. Пенева, Е. П.* Физическа геодезия. София, 2002.

## CONTEMPORARY INTERPRETATION OF GRAVIMETRIC METHODS FOR LOCALIZATION OF ANOMAL OBJECTS IN URBANIZED TERRITORIES

**S. Djorova-Marinova<sup>1</sup>, Y. Emilova<sup>2</sup>**

*Keywords: gravity, abnormal object, reverse task in the theory of potential*

### ABSTRACT

The paper describes the possibilities of modern gravimetric methods for detecting the location of deeply situated cavities and objects with different density than those of the surrounding environment. The interpretations of the resulting gravimetric anomalies and the isolation patterns allow estimates of the depth and shape of the abnormal objects to be obtained. The advantages of the applied method are explained, its qualities and possibilities for optimization are analyzed. The conclusions are supported by an example from a real project – part of the Sofia Metro.

---

<sup>1</sup> Severina Djorova-Marinova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geodesy”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: severina\_djorova@abv.bg

<sup>2</sup> Yoana Emilova, Eng., Dept. “Geodesy”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ioana\_e@abv.bg