



Получена: 06.06.2017 г.

Приета: 10.08.2017 г.

ТЕСТОВИ ГРАВМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ ПО ЛИНИЯ ОТ ДЪРЖАВНАТА НИВЕЛАЧНА МРЕЖА

Е. Пенева¹, Б. Астарджиев², Т. Ламбева³, Г. Митрев⁴, Г. Маринов⁵

Ключови думи: гравиметрични измервания, прецизна нивелация, корекции към гравиметричните измервания

РЕЗЮМЕ

Предмет на статията са гравиметричните измервания, проведени със съвременни и класически гравиметри по линия от ДНМ на Р България и тяхната обработка. Целта на представените геодезически дейности е да се систематизира подходящата технология за извършване и обработка на гравиметрични измервания за целите на прецизната нивелачна мрежа с оглед на съвременните държавни нормативни изисквания и приетите европейски и световни стандарти. Измерванията са проведени със съвременен гравиметър LaCoste&Romberg, собственост на УАСГ, и инструмент модел ГНУ-КС, представител на стандартните ползвани в страната руски гравиметри. На базата на направените измервания и обработки са формулирани изводи и препоръки.

¹ Елена Пенева, проф. д-р инж., кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: peneva_el@yahoo.com

² Боян Астарджиев, инж., кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: boyan_gb@hotmail.com

³ Татяна Ламбева, гл. ас. д-р инж., кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tlambeva16@gmail.com

⁴ Георги Митрев, ас. инж., кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: g.mitrev@abv.bg

⁵ Георги Маринов, гл. ас. д-р инж., кат. „Висша геодезия”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: gal_marinov@abv.bg

1. Въведение

Моделирането на гравитационното поле е от водещо значение за решаването на задачи от национално значение за нуждите на геодезията. Такива несъмнено са дефинирането на геодезическата основа на страната и определянето на референта повърхнината за височините. Изучването на гравитационното поле, освен за геодезически нужди, има важно значение и за геоложките и геофизични проучвания, анализирането на геодинамичните процеси, океанологията и др. Реализацията на Държавната нивелачна мрежа се осъществява чрез преход към официално приетата в страната система „Нормални височини“. За целта, при обработката на прецизните нивелачни измервания се внасят поправки, които се определят посредством големината на силата на тежестта в точките, където са позиционирани нивелачните репери.

Единната височинна система на България се реализира посредством Държавната нивелачна мрежа, която служи за височинна основа за всички инженерно-геодезически работи в страната. Държавната нивелачна мрежа се подразделя на четири класа – I, II, III и IV клас. Първите два класа освен за разпространение на единната система на страната, се използват и при научни изследвания за определяне на фигурата на Земята, разликите в изходните нива на моретата и океаните, вертикалните движения на земната кора и др. Първокласната нивелачна мрежа е основна за височинните определяния в страната, измерва се с най-висока точност, позоваваща се на строги критерии за нейното постигане. Тя се състои от затворени полигони с дължина от около 400 km и средна дължина на нивелачните линии – 100 km. Мрежата II клас е съгъстяваща за първокласната и се измерва с висока точност, като линиите, от които тя се състои, са със средна дължина 35 km.

При съвременното определяне на физически височини на точките от Държавната нивелачна мрежа I клас се изхожда от геопотенциалните коти и съответно от измерените големина на силата на тежестта в реперите. За реализация на методите за определяне на височините е задължително на територията на страната да бъде осигурено добро покритие в гравиметрично отношение.

Представят се извършените контролни гравиметрични измервания по нивелачна линия от първокласната нивелачна мрежа на страната, използване на налични данни, обработки и анализи, чрез които да се обосноват характеристиките и точностите на гравиметричните измервания. Въз основа на получените резултати са формулирани изводи и препоръки за провеждането и обработката им в съответствие със съвременните изисквания.

2. Гравиметрични измервания

Гравиметричните измервания представляват основна част от прецизните нивелачни определения. Стойностите на големината на силата на тежестта са необходими за внасяне на гравиметричната корекция (заради неуспоредността на ниво-повърхнините) при изчисляване на нормалните превишения, за изчисляване на разликите в геопотенциалните коти, за определяне на корекция за наклон на ниво-повърхнината по време на извършване на нивелацията и др.

Контролните гравиметрични измервания на параметрите на гравитационното поле по нивелачна линия от първокласната мрежа на страната са планирани и проведени по начин, позволяващ обработка на модела на дрейфа на нулата на гравиметъра. Приложени са различни подходи при обработката на измерванията за внасяне на препоръчаните корекции от IAG (International Association of Geodesy). Измерванията са реализира-

ни с оглед на съвременните, световни изисквания, необходими при решаването на основна геодезическа задача, каквато е задачата за височинни определения посредством прецизна геометрична нивелация. Получените резултати и направените изводи ще дадат възможност за унифицирането на националните стандарти със световните и европейските стандарти.

При осъществяване на гравиметричните измервания и тяхната последваща обработка се препоръчва обща схема. Под гравиметрични измервания за целите на прецизната нивелация в случая се разбира релативни определения на силата на тежестта в реперите от нивелачната линия.

Гравиметричните измервания са извършени успоредно от два екипа с релативни гравиметри LaCoste&Romberg Model и ГНУ-КС. Гравиметър LCR Model G (фиг. 1) е широкодиапазонон гравиметър геодезически тип, с електронен отчет на нулевото положение на махалото и електронни либели. Гравиметър ГНУ-КС (фиг. 2) е тяснодиапазонон с кварцов чувствителен елемент. Техническите характеристики на двата гравиметъра са дадени в таблица 1.



Фиг. 1. Статичен гравиметър LCR – Model G

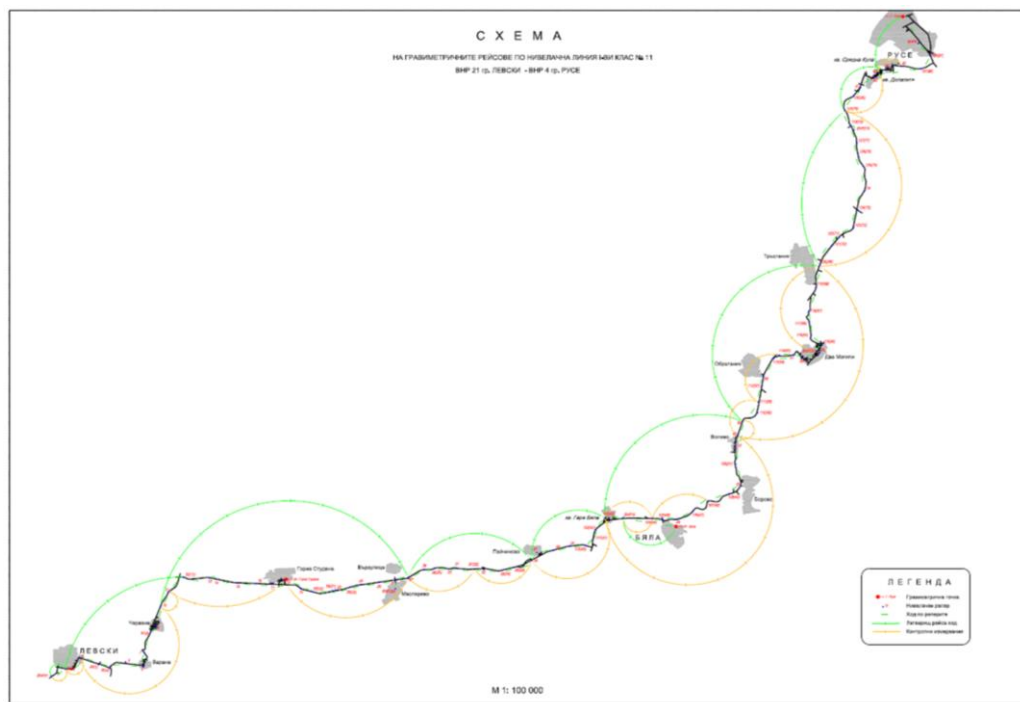


Фиг. 2. Статичен гравиметър ГНУ-КС

Таблица 1. Технически характеристики на използваните гравиметри

Модел/Технически характеристики	LaCoste&Romberg Model G	ГНУ-КС
Обхват	7000 mGal	Тяснодиапазонон
Разделителна способност	0,005 mGal	0,001 mGal
Точност на единично измерване	0,04 mGal	0,03 – 0,06 mGal
Дрейф	0,5 mGal/мес	1,0 mGal/ден
Тегло	3,2 kg	5 kg

Измерванията са проведени на всеки репер от нивелачната линия по предварително съгласувана схема (фиг. 3) за 5 дни в 13 гравиметрични рейса.



Фиг. 3. Схема на гравиметричните рейсове

За изходни точки на релативните измервания са използвани три абсолютни гравиметрични точки – г.т. № 00024 – Бяла, № 00007 – Русе и № 18 (00025) – Горна Студена (таблица 2).

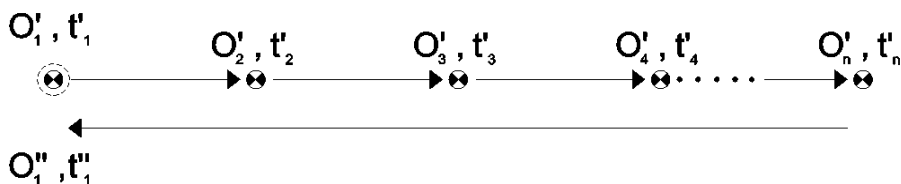
Таблица 2. Регистър на изходните гравиметрични точки

Репер	g , mGal	Географски координати, о ' "	H , m
00024 – Бяла	980484,960	$\varphi = 43^{\circ} 27' 35''$ $\lambda = 25^{\circ} 44' 16''$	52,03
00007 – Русе	980522,990	$\varphi = 43^{\circ} 50' 03''$ $\lambda = 25^{\circ} 57' 28''$	53,00
18 (00025) – Горна Студена	980462,510	$\varphi = 43^{\circ} 25' 09''$ $\lambda = 25^{\circ} 21' 29''$	117,18

Схемата на измерване е прост гравиметричен рейс с включване на две до три контролни точки (фиг. 4).

Продължителността на измерването е такава, че да бъде осигурен линеен характер на дрейфа, а получените систематични грешки да бъдат равни на дрейфа на нулата за всеки отделен гравиметричен рейс. При провеждане на измерванията в гравиметричния карнет, за всяка една станция и за всеки отделен гравиметър са записани: дата, модел и сериен номер на инструмента, оператор, номер и координати на станцията, височина на инструмента спрямо основата и нивелачния репер, отчет по инструмента, час на измер-

ването, краен отчет. Спазвани са изискванията за стационариране на гравиметъра на едно и също положение при контролни и повторни измервания в една и съща точка.



Фиг. 4. Прост гравиметричен рейс

3. Обработка на гравиметричните измервания

Първият етап от обработката на измерванията е формирането на крайния коригиран отчет за всяка станция от гравиметричния рейс. Поради различията в спецификата на двата гравиметъра крайният отчет се формира по различен начин. За инструмента LCR се правят отчети до получаване на два еднакви, а за ГНУ-КС се извършват три отчитания на станция, които в последствие се осредняват за получаване на краен. Отчетите се преобразуват от инструментални единици в милигали също по различен начин за двата гравиметъра спрямо техните константи.

Таблица 3. Предварителна обработка на гравиметричните измервания с гравиметър LCR

№	Час, h:min:sec	Краен отчет	КО - калибр. отчет, mGal	h осн.гр.- репер, cm	O = КО +0,3086*h, mGal	Прил. корекция, µGal	Кориг. отчет, mGal	Прил. корекция, mGal	Корекция за дрейфа на нулата, mGal	Кориг. отчет, mGal	Δg, mGal
120(69)	09:18:00	4036,33	4090,912	-16,0	4090,862	-56	4090,806	0,000	4090,806		120(69)
121(70)	09:31:00	4050,13	4104,914	-19,0	4104,855	-55	4104,801	0,015	4104,816	14,009	121(70)
122(71)	09:43:00	4057,34	4112,229	-18,5	4112,172	-53	4112,119	0,029	4112,148	7,333	122(71)
123(72)	09:54:00	4041,61	4096,269	-19,0	4096,211	-51	4096,160	0,041	4096,201	-15,947	123(72)
124(73)	10:06:00	4040,46	4095,102	156,5	4095,585	-48	4095,537	0,055	4095,592	-0,609	124(73)
74	10:28:00	4040,17	4094,808	-5,0	4094,793	-43	4094,750	0,081	4094,830	-0,762	74
125(75)	10:42:00	4051,07	4105,868	29,5	4105,959	-39	4105,920	0,097	4106,017	11,186	125(75)
126(76)	10:51:00	4061,92	4116,877	-19,5	4116,816	-36	4116,781	0,107	4116,888	10,871	126(76)
127(77)	10:59:00	4055,99	4110,860	-20,0	4110,798	-33	4110,765	0,116	4110,882	-6,006	127(77)
128(78)	11:12:00	4052,53	4107,349	-4,0	4107,337	-28	4107,309	0,131	4107,440	-3,441	128(78)
129(79)	11:32:00	4050,64	4105,431	-19,0	4105,373	-19	4105,353	0,154	4105,508	-1,933	129(79)
120(69)	11:52:00	4036,11	4090,689	-16,0	4090,639	-10	4090,629	0,177	4090,806	-14,701	120(69)
120(69)	09:18:00	4036,33	4090,912	-16,0	4090,862	-56	4090,806	0,000	4090,806		120(69)
121(70)	09:31:00	4050,13	4104,914	-19,0	4104,855	-55	4104,801	0,015	4104,816	14,009	121(70)
122(71)	09:43:00	4057,34	4112,229	-18,5	4112,172	-53	4112,119	0,029	4112,148	7,333	122(71)

Калибрираните по този начин отчети са приведени към съответния репер чрез корекция за височината на точката с нормален вертикален градиент на силата на тежестта. В последствие към отчетите е внесена приливна корекция към момента на измерване, изчислена по формулата на Лонгман.

След нанасяне на двете корекции е формиран краен отчет за всяка станция. От тези отчети е изчислен линейният дрейф на нулата на гравиметъра за всеки един гравиметричен рейс, чиято стойност е разпределена пропорционално на времето за измерване. От така получените отчети са изчислени разликите в силата на тежестта за всеки две последователни точки от гравиметричния рейс.

В таблица 3 е показана извадка от предварителната обработка на гравиметричните измервания.

Следващият етап от обработката е предварителната оценка на точността. Тя е извършена чрез формиране на двойните разлики в силата на тежестта. За тази цел за гравиметъра LaCoste & Romberg са използвани многократно измерените гравиметрични разлики.

В резултат на обработката са получени следните стойности за средните квадратни грешки:

- средна квадратна грешка за двойна разлика: 0,053 mGal;
- допустима стойност на двойната разлика: 0,158 mGal;
- средна квадратна грешка на единично измерване с тежест единица: 0,037 mGal/h.

Не са установени двойни измервания с недопустими стойности.

В колоната от двойни разлики не е установена стойност, по-голяма от допустимата.

За измерванията с гравиметъра LCR е извършена и предварителна оценка на точността чрез несъвпаденията от затворените и включените гравиметрични ходове. В резултат на нея е определена средната квадратна грешка на измерване с тежест единица – 0,030 mGal/h. За всеки ход е изчислена средната квадратна грешка и допустимата грешка за несъвпадението. Не са установени несъвпадения с недопустими стойности.

За предварителната оценка на точността на измерванията с гравиметъра ГНУ-КС са използвани измерванията между контролните точки. Средната квадратна грешка на измерена гравиметрична разлика в случая е – 0,197 mGal.

При сравнение на редовете от двойни измервания на двата гравиметъра се наблюдават значително по-малки стойности на разликите, получени с LaCoste & Romberg в сравнение с ГНУ-КС. Също така получената стойност за средната квадратна грешка на единично измерване с LaCoste & Romberg е значително по-малка.

Поради изброените причини в по-нататъшната обработка са изравнени по МНМК само резултатите от LCR, а получените нестроги изчисления за измерванията от ГНУ-КС са ползвани за сравнение и контрол.

4. Определяне на стойности за ускорение на силата на тежестта и оценка на точността

Изчислението на изравнените стойности на гравиметричните разлики и оценката на точността на измерванията е извършено чрез корелатно изравнение по МНМК. Тежестите при обработката на измерванията и изравнението са формирани съобразно времето

за определяне на дрейфа на нулата (Δt) за съответната гравиметрична разлика (Δg), като са приети да бъдат обратно пропорционални на Δt .

В резултат на изравнението е получена средна квадратна грешка на измерване с тежест единица – 0,028 mGal/h. Нейната големина се съгласува добре с априорната средна квадратна грешка, получена от двойните разлики (0,037 mGal/h), с тази, получена от несъвпаденията по затворените фигури (0,030 mGal/h) и с проспектната точност на инструмента (0,040 mGal).

Извадки от резултатите от изравнението на гравиметричните измервания са дадени в таблица 4, съдържаща поправките, средните квадратни грешки на поправките, изравнените гравиметрични разлики, както и техните средни квадратни грешки. Максималната стойност от поправките е 0,027 mGal, а от средните квадратни грешки на изравнените гравиметрични разлики – 0,046 mGal.

Таблица 4. Резултати от изравнението на гравиметричните измервания с LCR

№	Репер, от	Репер, към	$\Delta g_{\text{изм.}}$, mGal	$P_{\text{Агизм.}}$	$m_{\Delta g_{\text{изм.}}}$, mGal	V , mGal	m_v , mGal	$\Delta g_{\text{изр.}}$, mGal	$m_{\Delta g_{\text{изр.}}}$, mGal
1	00024	ВНР15	-9,179	2,069	0,019	0,005	0,002	-9,174	0,019
2	ВНР15	104(44)	12,196	1,333	0,024	0,007	0,003	12,203	0,024
3	104(44)	53	-25,687	0,380	0,045	0,025	0,011	-25,662	0,044
4	53	54	0,669	6,357	0,011	0,001	0,001	0,670	0,011
5	54	55	-14,981	2,308	0,018	0,004	0,002	-14,977	0,018
6	55	111(56)	5,797	0,236	0,057	0,040	0,017	5,837	0,054
7	111(56)	112(57)	0,893	3,750	0,014	0,003	0,001	0,896	0,014
8	112(57)	58	-2,142	2,308	0,018	0,004	0,002	-2,138	0,018
9	58	59	6,462	1,622	0,022	0,006	0,002	6,467	0,022
10	59	61	15,028	0,896	0,029	0,011	0,004	15,038	0,029
11	61	62	-12,974	0,759	0,032	0,012	0,005	-12,961	0,031
12	62	63	-2,275	0,667	0,034	0,014	0,006	-2,261	0,033
13	63	115(64)	-0,022	0,566	0,037	0,017	0,007	-0,005	0,036
14	115(64)	116(65)	1,903	0,484	0,040	0,019	0,008	1,922	0,039
15	116(65)	117(66)	10,432	0,448	0,041	0,021	0,009	10,453	0,040

От изравнените стойности на гравиметричните разлики и данните за изходните абсолютни гравиметрични точки (таблица 2) са определени големините на ускорението на силата на тежестта за всеки един нивелачен репер от нивелачната линия (таблица 5).

Таблица 5. Стойности на силата на тежестта и средни квадратни грешки, получени с гравиметър LCR

Репер	B_{\circ}	B_{\prime}	L_{\circ}	L_{\prime}	$g_{изр.}$ mGal	$m_{изр.}$ mGal
ВНР 21 пок.	43	20,76	25	7,74	980465,032	0,060
ВНР 21	43	20,76	25	7,74	980465,488	0,060
88(1)	43	21,08	25	8,57	980465,817	0,058
2	43	21,54	25	9,44	980469,560	0,071
89(3)	43	21,30	25	10,50	980469,213	0,072
90(4)	43	21,13	25	11,13	980467,993	0,068
5	43	21,33	25	12,09	980469,387	0,065
6	43	21,28	25	13,13	980467,555	0,062
7	43	21,85	25	13,15	980459,243	0,057
91(8)	43	22,74	25	13,57	980452,605	0,051
9	43	23,02	25	13,85	980456,309	0,043
10	43	23,89	25	14,15	980464,521	0,030
11	43	24,52	25	14,63	980466,224	0,024

5. Заключение

Направени са обобщения и заключения, в резултат на възникналите проблеми и въпроси при реализирането, обработката и анализа на гравиметричните измервания, за целите на прецизна нивелация по точки от ДНМ. В следствие на това са систематизирани препоръки относно: схемата на реализиране на измерванията; корекциите към измервания; обработката на измервания. Препоръките, в същата последователност, са както следва:

1) Предлага се предварително утвърждаване на подходяща схема за провеждане на гравиметрични измервания по линии от ДНМ

Използването на подходяща схема осигурява коректна обработка и оценка на точността на измерванията. За тази цел е необходимо изпълнението на изброените по-долу изисквания за:

- използване на хомогенна структура за провеждане на гравиметричните рейсове – прост гравиметричен рейс с включване на контролни точки по предварително съгласувана схема;
- съгласуване на максималната продължителност на отделния прост гравиметричен рейс;
- избор на подходяща изходна и крайна точка на всеки гравиметричен рейс, както и на подходяща свързваща точка с друг гравиметричен рейс. Изборът на стабилни точки гарантира получаване на надеждни корекции за дрейфа

- на нулата за реперите от гравиметричния рейс, както и води до ограничаване на предаването на грешки между отделните гравиметрични рейсове по продължение на нивелачната линия;
- планиране на схема на гравиметричните измервания, с използване на хомогенна структура от гравиметрични рейсове по продължение на нивелачната линия – приблизително еднакви времена на отделните гравиметрични рейсове;
 - планиране на схема на гравиметрични измервания, осигуряваща равномерно включване на възловите нивелачни реperi към изходните гравиметрични точки от ДГрМ;
 - предварителната схема да е препоръчителна, тъй като поради спецификата на релативните гравиметрични измервания не винаги е възможно да бъде спазвана – атмосферни условия, външни смущения, достъпност на реperi и гравиметрични точки и др.

2) Корекции към гравиметричните измервания

Препоръчва се внасяне на следните корекции към гравиметричните измервания:

- За височина на инструмента спрямо репера.
- Приливните корекции за пълния приливен ефект към гравиметричните измервания да се изчисляват с програмен продукт, одобрен от АГКК, подsigуряващ необходимата точност, съобразно точността на гравиметричните измервания за целите на прецизна нивелация.
- Атмосферна корекция.
- Дрейф на нулата.

3) Обработка на гравиметричните измервания

На базата на извършените практически измервания и изчисления се препоръчва обработката на измерванията да стане в два основни етапа: (1) контрол и предварителна оценка на измерванията в гравиметричните рейсове и по затворени контури; (2) определения и оценка на точността на стойностите за силата на тежестта за новоопределяеми реperi да става строго по МНМК. Предлаганите етапи са необходими поради сложните структури на реализираните гравиметрични измервания по протежение на нивелачната линия. Необходимо е също така установяване на изисквания за допуски за точността на ускорението на силата на тежестта на новоопределяемите точки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Господинов, Сл.* Основни геодезически мрежи за геодинамични цели. Дисертация, УАСГ, София, 1990.
2. *ГУГКК.* Инструкция за нивелация I и II клас. София, 1980.
3. *Жеков, Д., Здравчев, И., Господинов, Сл.* Отчитане влиянието на Лунно-Слънчевите приливи върху резултатите от високоточни нивелачни измервания в НРБ. Геодезия, картография, земеустройство, бр. 1, стр. 18-20, 1989.

4. МРРБ. Инструкция № РД-02-20-12 от 03 август 2012 г. за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в „Българска геодезическа система 2005“, 2012.
5. МРРБ. Наредба № 2 от 30 юли 2010 г. за дефиниране, реализация и поддържане на Българската геодезическа система, 2010.
6. МРРБ. Наредба № РД-02-21-1 от 9 юли 2015 г. за Държавната нивелачна мрежа, 2015.
7. Adam, J., W. Augath, F. Brouwer, G. Engelhardt, W. Gurtner, B. G. Harsson, J. IHDE, D. Ineichen, H. Lang, J. Luthardt, M. Sacher, W. Schlüter, T. Springer, G. Wöppelmann. Status and Development of the European Height Systems, Geodesy Beyond 2000: The Challenges of the First Decade, IAG General Assembly Birmingham July 19-30, Springer, 1999.
8. Ekman, M. Impacts of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity, Bull. Geod. 63, pp. 281-296, 1989.
9. Ihde, J., Barzaghi, R., Marti, U., Sánchez, L., Sideris, M., Drewes, H., Foerste, Ch., Gruber, T., Liebsch, G., Pail, R. Report of the Ad-hoc Group on an International Height Reference System (IHRS); In: IAG Reports 2011-2015 (Travaux de l'AIG Vol. 39), <http://iag.dgfi.tum.de/index.php?id=329>.
10. Ihde, J., J. Mäkinen, M. Sacher. Conventions for the Definition and Realization of a European Vertical Reference System (EVRS) – EVRS Conventions 2007, IAG Sub-commission 1.3a EUREF, EVRS Conventions V5.1, 2008.
11. International Association of Geodesy (IAG). IAG Resolution (No. 1) for the definition and realization of an International Height Reference System (IHRS), General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Prague, July 2015, 1990.
12. LaCoste & Romberg INSTRUCTION MANUAL MODEL G&D GRAVITY METERS, 127 p., http://userpage.fu-berlin.de/geodyn/instruments/Manual_Lacoste_GDI.pdf.

CONTROL GRAVIMETRIC MEASUREMENTS ALONG A LINE FROM THE STATE LEVELING NETWORK

E. Peneva¹, B. Astartdjiev², T. Lambeva³, G. Mitrev⁴, G. Marinov⁵

Keywords: *gravimetric measurements, precise leveling, corrections to the gravimetric measurements*

ABSTRACT

The paper presents the gravimetric measurements performed with the contemporary and classical gravimeters on State Leveling Network line of Bulgaria, as well as their processing. The aim of the submitted surveying activities is to systematize appropriate technology for making and processing of gravimetric measurements for the purpose of precise leveling network in view of the current state regulations and accepted European and world standards. The measurements are performed with contemporary gravimeter LaCoste&Romberg, owned by the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, Bulgaria, and the GNU-KC (ГНУ-КК), representing the standard Russian gravimeters used in the country. Based on the measurements and processing, conclusions and recommendations are formulated.

¹ Elena Peneva, Prof. Dr. Eng., Dept. "Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: peneva_el@yahoo.com

² Boyan Astartdjiev, Eng., Dept. "Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: boyan_gb@hotmail.com

³ Tatyana Lambeva, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tlambeva16@gmail.com

⁴ Georgy Mitrev, Senior Assist. Prof. Eng., Dept. "Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: g.mitrev@abv.bg

⁵ Georgy Marinov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geodesy", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: gal_marinov@abv.bg