

ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI  
MARIA CISAK  
ANDRZEJ SAS  
LUCJAN SIPORSKI

### ZMODERNIZOWANA PODSTAWOWA OSNOWA GRAWIMETRYCZNA KRAJU (POGK 97)

*ZARYS TREŚCI: Przedstawiono opis osnowy oraz szczegóły dotyczące prac pomiarowych na punktach osnowy, które były wykonane w latach 1994 - 1997.*

Podstawowa osnowa grawimetryczna kraju była założona w latach 60. i wyrównana w 1973 r. w Systemie 71. Jej wadą była nierównomierna gęstość rozmieszczenia punktów i brak stabilizacji punktów 2 klasy. Wobec stale rosnących wymagań co do znajomości przyspieszenia siły ciężkości z coraz wyższą dokładnością, w 1977 r. został opracowany w IGiK ogólny projekt modernizacji osnowy grawimetrycznej. Ogólny projekt zawierał 351 punktów sieci, których połączenia tworzyły 650 przęseł. Długości tych przęseł zawierały się w granicach 20-70 km, licząc drogę przejazdu transportem samochodowym. Zaprojektowane przęsła tworzyły szereg figur zamkniętych - trójkątów, czworoboków i pięcioboków. Tak utworzona sieć miała być dowiązana do punktów sieci międzynarodowej, tzw. Jednolitej Sieci Grawimetrycznej (JSG) państw Europy Wschodniej. Na terenie Polski ustalono 5 takich punktów, a mianowicie: Koszalin, Gdańsk, Poznań, Borowa Góra, Kraków.

W roku 1977, po zatwierdzeniu projektu przez b. GUGiK, przystąpiono do wyboru i stabilizacji punktów sieci. Miejsce na znak grawimetryczny starano się wybrać w taki sposób, aby przez co najmniej kilkadziesiąt lat stabilizacja jego nie została naruszona. Punkty lokalizowano zatem w pobliżu szkół, kościołów, muzeów, obserwatoriów i innych budynków użyteczności publicznej. Stabilizację wybranych punktów wykonały w terenie Państwowe Przedsiębior-

stwo Geodezyjne oraz Zarząd Topograficzny WP. Do roku 1978 zastabilizowano 200 punktów sieci blokami betonowymi o wymiarach górnej powierzchni 80x80 cm i wysokości 100 cm. Bloki wpuszczono w ziemię tak, że górna ich powierzchnia znajdowała się na poziomie gruntu. Z 18 punktów I klasy zastabilizowanych płytami o wymiarach 3x3 m odnaleziono i wykorzystano do modernizowanej osnowy 11 punktów.

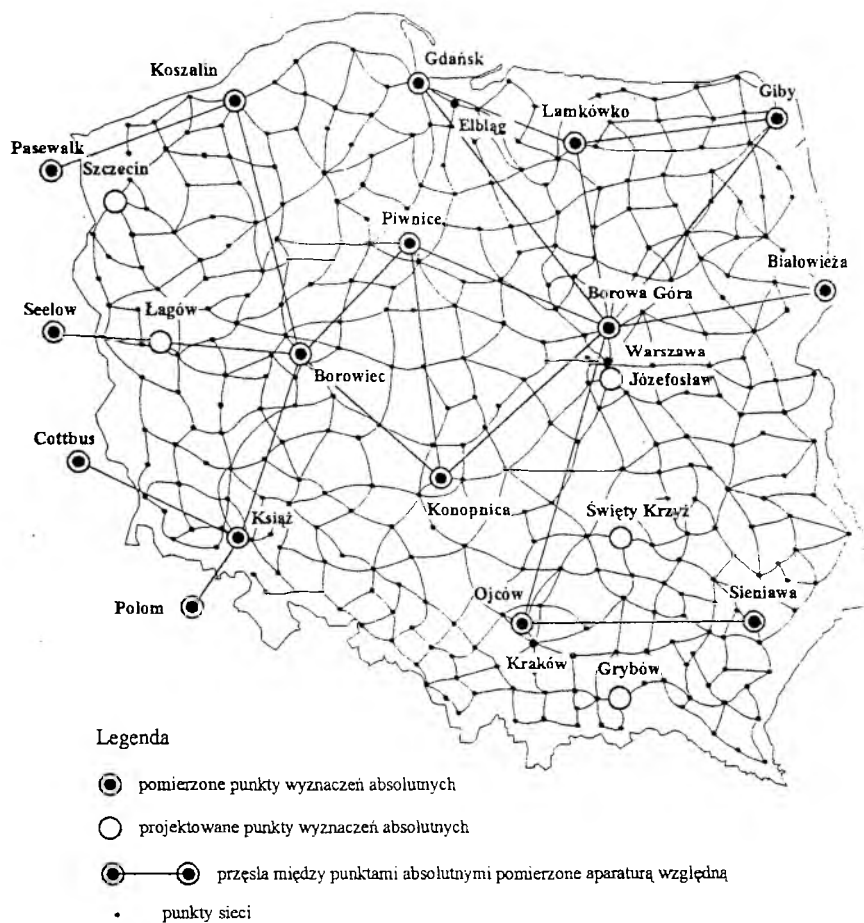
Ze względu na brak środków na zakup trzech grawimetrów, prace zostały zawieszono do 1986 r. W związku z perspektywą wykorzystania do pomiarów sieci grawimetrów firmy Worden, używanych w pracach eksportowych w Libii, prace nad modernizacją wznowiono, przystępując do stabilizacji pozostałych 140 punktów. Punkty w liczbie 351, łatwo dostępne dla transportu samochodowego, równomiernie pokryły obszar całego kraju. Jednak pomiar sieci nadal nie był możliwy, gdyż grawimetry Worden, które powróciły z Libii, nie nadawały się do prac modernizacyjnych ze względu na stopień ich zużycia. Dopiero zakupienie w 1992 r. przez IGiK (w ramach uzyskanego z KBN grantu) jednego, a w 1993 r. drugiego grawimetru firmy LaCoste & Romberg oraz włączenie się Zarządu Topograficznego WP z grawimetrami tej samej firmy stworzyło warunki do pomiaru osnowy.

Opracowany w 1992 r. przez grupę ekspertów Komitetu Geodezji PAN raport o potrzebie i kierunkach modernizacji tej osnowy zapoczątkował podjęcie prac nad jej unowocześnieniem. Odpowiednio zmodyfikowany projekt osnowy grawimetrycznej ponownie został zatwierdzony do pomiaru przez ówczesny Departament Głównego Geodety Kraju. Odstąpiono w nim od koncepcji Jednolitej Sieci Grawimetrycznej. Zaprojektowano natomiast sieć punktów absolutnych w liczbie 17, do których miała być dowiązana modernizowana sieć grawimetryczna. Liczba tych punktów wynikała z zaleceń Międzynarodowej Asocjacji Geodezyjnej, dotyczących gęstości ich zakładania na terenie danego kraju (jeden punkt na 15000 km<sup>2</sup>).

Zmodernizowaną osnowę kraju tworzy zatem 351 zastabilizowanych punktów sieci oraz 17 punktów absolutnych. Na 12 punktach, do 1998 r. pomierzono już wartości absolutne przyspieszenia siły ciężkości. Na jednym z nich, który jest punktem fundamentalnym, znajdującym się w obserwatorium IGiK w Borowej Górze, wyznaczenia absolutne zostały wykonane kilkakrotnie. Przęsła podstawowej osnowy grawimetrycznej tworzą zamknięte figury, w których liczba przęseł zawiera się w granicach od 3 do 5, a średnia długość przęsła wynosi 35 km (rys. 1).

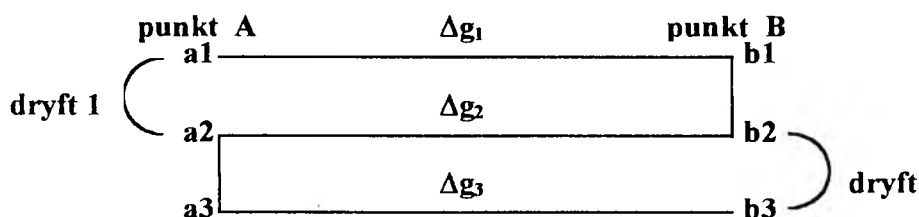
Współczynniki skal liczników grawimetrów wyznaczone były przed i po sezonie pomiarowym na krajowej bazie grawimetrycznej z punktami w Elblągu, Ostródzie, Mdzewie, Palmirach, Warszawie i Krakowie. Na początku pomiarów osnowy każdy grawimetr miał wyznaczoną skalę tylko raz, przed sezonem. Jako zasadę przyjęto, że skala z pierwszego wyznaczenia nie będzie zmieniana, jeżeli rozbieżności obliczonych współczynników z pierwszego i dalszych

wyznaczeń będą zawierać się w granicach błędu ich wyznaczenia. Takie założenie miało na celu uniknięcie kolejnego wprowadzania do obliczeń nowych wartości współczynnika skali dla danego grawimetru, po każdym jego wyznaczeniu na bazie, co wprowadzałoby, oprócz dodatkowej pracy, pewien element zamieszania w zbiorach  $\Delta g$ . Rzeczywiście, kolejne wyznaczenia skal wskazywały na to, że zmiany wartości ich współczynników mają charakter przypadkowy i wynikają z błędów pomiaru na bazie podczas kalibracji grawimetrów. Skale grawimetrów z pierwszego wyznaczenia były wystarczająco dokładne, aby można było porównać wartości  $\Delta g$  na prześle pomierzone trzema instrumentami w grupie i dokonać oceny poprawności pomiaru prześla. Po zakończeniu pomiarów sieci obliczono najprawdopodobniejsze wartości współczynników skal grawimetrów ze wszystkich wyznaczeń na bazie. Wartości  $\Delta g$  przeliczono, stosując te współczynniki.



Rys. 1. Podstawowa osnowa grawimetryczna kraju

Zgodnie z ustalonymi ze zleceniodawcą warunkami technicznymi, pomiar przęsła przeprowadzono metodą różnic z natychmiastową kontrolą dryftu, według schematu A-B, B-A, A-B w następujący sposób. Na punkcie A wykonywano obserwację a1, po przejechaniu na punkt B wykonywano obserwację b1, a następnie po zaaretowaniu instrumentu, jego ponownym ustawieniu i spoziomowaniu, dokonywano obserwacji b2. Ten sam cykl powtarzano na punkcie A, uzyskując obserwacje a2 i a3. Po powrocie na punkt B wykonywano obserwację b3. W celu podniesienia dokładności, każdą obserwację (a1,2,a3,b1,b2,b3) uzyskiwano jako średnią wartość z dwu serii odczytów; każda seria po 4 odczyty. Prowadzenie pomiarów według tego schematu pozwalało na uzyskanie każdym instrumentem po trzy niezależne wartości  $\Delta g$  na każdym przęsle (rys. 2).



Rys. 2. Schemat zastosowanej metody pomiaru

Przed przystąpieniem do pomiaru sieci należało zastanowić się nad określeniem modelu dryftu grawimetrów, odpowiedniego do zastosowanej technologii pomiaru. W wyniku przeprowadzonych testowych pomiarów stwierdzono, że zmiany odczytów w czasie kilkugodzinnego pomiaru można uznać za przypadkowe zakłócenia w pracy instrumentów. Po zapoznaniu się ze specjalistyczną literaturą (np. Torge [1989]) oraz zgodnie z zaleceniami zleceniodawcy (Wytyczne Techniczne G-1.2 [1984]) przyjęto następujący sposób postępowania: traktując dryft jako liniowy wprowadzono poprawki do wszystkich odczytów proporcjonalnie do czasu. Prawdliwość przyjętego postępowania potwierdziła analiza całego materiału polowego (Cisak [1998]).

Do pomiarów przęsł sieci Instytut przystąpił na zlecenie Departamentu Głównego Geodety Kraju w 1994 r. Zlecenie obejmowało pomiar 103 przęsł. W roku 1995 pomierzono 232 przęsła, a w 1996 r. 187 przęsł. Pozostałą część sieci, 112 przęsł, pomierzył Instytut Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Wydziału Geodezji PW. 12 przęsł, położonych wzdłuż granicy z Niemcami, zostało pomierzone przez zespół niemiecki w 1996 r. Zespół ten wykonał również pomiary względne pomiędzy punktami absolutnymi: Koszalin - Pasewalk, Borowiec - Seelow, Książ - Cottbus. W lecie 1997 r. wykonano pomiary  $\Delta g$  tzw. długich przęsł wiążących projektowane punkty absolutne w Gibach i

Lamkówku z punktami absolutnymi w Gdańsku i Borowej Górze. Do pomiarów osnowy, które trwały 3 lata użyto 13 grawimetrów firmy LaCoste & Romberg i jednego grawimetru Scintrex CG3. Poprawki luno-solarne liczone programem według algorytmu Longman'a. Dla wszystkich punktów przyjęto jednakowy współczynnik sprężystości skorupy ziemskiej, równy 1,17 (wartość ta uzgodniona była z prof. T. Chojnickim). Na każdym punkcie mierzono ciśnienie atmosferyczne, lecz nie wprowadzano poprawek ze względu na zmiany ciśnienia między stanowiskami, gdyż mogą one być nie uwzględniane z powodu ich różnicowego charakteru. Jako ostateczną wartość  $\Delta g$  przyjmowano średnią z pomiaru trzema grawimetrami zakładając, że przeszło zostało pomierzone poprawnie, gdy błąd tej wartości, obliczony z odchyłek od średniej, zgodnie z Wytycznymi Technicznymi G-1.2, nie przekraczał 0,020 mGal.

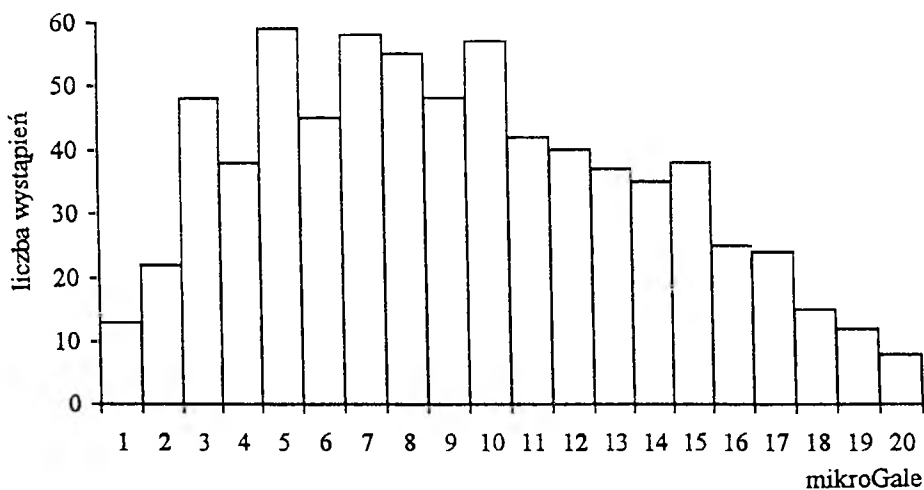
Wartości  $\Delta g$  uzyskane z pomiarów w latach 1994-1996 były obliczane z zastosowaniem skal grawimetrów wyznaczonych na krajowej bazie grawimetrycznej w systemie grawimetrycznym dotychczas stosowanym w Polsce, zwanym dalej systemem krajowym. Pomierzone, w latach 1995-1996, grawimetrami balistycznymi FG-5, wartości  $g$  wyznaczają system grawimetryczny - zwany przez nas systemem absolutnym. W roku 1997, w celu wyznaczenia współczynnika przejścia ze skali krajowej na skalę absolutną, wykonano następujące prace:

- Czterema grawimetrami L&R, będącymi własnością IGiK, wielokrotnie pomierzono różnice przyspieszenia siły ciężkości pomiędzy sześcioma punktami absolutnymi stanowiącymi cztery bazy grawimetryczne: Gdańsk-Borowa Góra, Borowa Góra-Ojców, Koszalin-Borówiec, Borówiec-Książ. Metodą najmniejszych kwadratów obliczono współczynniki skal tych grawimetrów. Największy błąd współczynnika skali wynosił  $4 \times 10^{-5}$ . Dla kontroli, współczynniki te zastosowano do obliczenia pomierzonego, tymi czterema grawimetrami,  $\Delta g$  pomiędzy punktami absolutnymi Książ i Polom (Czechy). Pomierzone  $\Delta g$  różni się o 0,002 mGal od różnicy pomiarów absolutnych.

Tak wyskalowanymi czterema grawimetrami dwukrotnie pomierzono  $\Delta g$  przęseł łączących trzy punkty absolutne z trzema punktami krajowej bazy grawimetrycznej. Są to przęsła: Gdańsk-Elbląg, Borowa Góra-Warszawa, Ojców-Kraków. Następnie obliczono wartości  $g$  trzech punktów bazy w systemie punktów absolutnych. Współczynnik przejścia ze skali krajowej na skalę absolutną wyznaczono jako średnią wartość stosunku  $\Delta g$  absolutnego do  $\Delta g$  krajowego dla dwu odcinków bazy krajowej: Elbląg-Warszawa, Warszawa-Kraków. Współczynnik ten zastosowano do przeliczenia  $\Delta g$  przęseł wyrażonych w skali krajowej na  $\Delta g$  w skali absolutnej.

Do pomierzonej, w latach 1994-1996, sieci włączono wszystkie przęsła będące odcinkami baz grawimetrycznych, mierzone wielokrotnie podczas skalowania instrumentów. Włączono również dwukrotnie pomierzone przęsła łączące punkty bazy wschodniej z punktami absolutnymi, a także tzw. długie przę-

śla. Całą sieć tworzą łącznie 674 przęsła, na których wykonano 722 pomiary różnic przyspieszenia siły ciężkości. Histogram średnich błędów pomiaru  $\Delta g$  na przęsłach przedstawiono na rysunku 3. Należy podkreślić, że 62% błędów nie przekracza 0,010 mGal, tj. połowy dopuszczalnej wartości.



Rys. 3. Histogram błędów pomierzonych  $\Delta g$  przęsł sieci

Jako kryterium poprawności pomiaru sieci przyjęto wartości odchyłek zamknięcia figur utworzonych przez przęsła. Odchyłka zamknięcia nie powinna przekraczać wartości  $0,020 \sqrt{n}$  mGal; gdzie  $n$  - liczba przęsł w figurze. Histogram stosunku wartości odchyłek uzyskanych w 304 figurach do wartości odchyłek dopuszczalnych przedstawiono na rysunku 4. Należy zaznaczyć, że 76% odchyłek nie przekracza połowy dopuszczalnej wielkości. Błąd pomiaru przęsła, obliczony z odchyłek zamknięć figur, obliczony w/g wzoru:

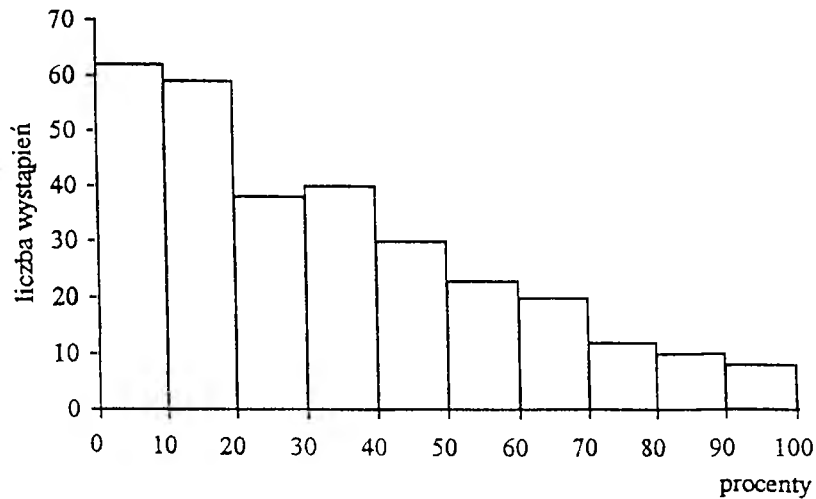
$$m = \sqrt{\frac{\omega \omega}{n N}},$$

gdzie:  $\omega$  - wartość odchyłki zamknięcia figury,

$n$  - liczba przęsł w figurze,

$N$  - liczba figur,

wynosi 0,0086 mGal.



Rys. 4. Histogram stosunku wielkości odchylek zamknięcia figur z pomiaru do wielkości odchylek dopuszczalnych

#### LITERATURA

1. Cisak M. [1998]: *Modelowanie dryftu grawimetrów LaCoste&Romberg typ G przy pomiarach podstawowej osnowy grawimetrycznej w Polsce*. Prace IGiK t. XLV, z. 96.
2. *Wytyczne Techniczne G-1.2*. GUGiK [1984]: Białystok: OPGK - Zakład Kartografii i Reprodukcyj
3. Torge W. [1989]: *Gravimetry*. Walter de Guyter, Berlin, New York.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Marcin Barlik

*ANDRZEJ SAS-UHRYNOWSKI  
MARIA CISAK  
ANDRZEJ SAS  
LUCJAN SIPORSKI*

## MODERNISED BASIC GRAVIMETRIC NETWORK OF POLAND (POGK 97)

### S u m m a r y

Basic gravimetric network of Poland was established in sixties, so now it does not fulfil the modern needs of geodesy, especially considering more common recent use of satellite measuring techniques.

In 1977 the general project of modernisation of the network was prepared in the Institute of Geodesy and Cartography and approved by the Head Office of Geodesy and Cartography. All new points of the modernised gravimetric network were stabilised by concrete poles between 1978 and 1987, but the measurements were possible only in 1992, when the newest La Coste & Romberg gravimeters were purchased by the Institute of Geodesy and Cartography.

Project of gravimetric network, verified by experts from the Geodesy Committee, Polish Academy of Sciences, was approved again by the Department of Surveyor General of Poland in 1993. New gravimetric network comprises fundamental point, located in the Observatory of the Institute of Geodesy and Cartography in Borowa Gora, which was already used several times to measure absolute acceleration of gravity, 16 absolute points (9 of which were already measured), 351 stabilised terrain points and two meridian's calibration base lines, based on 6 absolute points.

The Institute of Geodesy and Cartography started to measure the new network in 1994 and the measuring works were completed finally in 1997.

Values of differences in acceleration of gravity  $\Delta g$  were calculated using scales of gravimeters determined on the basis of national gravimetric network, and next were re-calculated in 1997 to the system defined by absolute points.

The whole network consists of 674 spans, where 722 measurements of differences in acceleration of gravity  $\Delta g$  were performed. It must be emphasised, that 62% of errors of  $\Delta g$  values measured on network spans does not exceed 0.010 mGal, while criterion of correctness is 0.020 mGal.

Translation: Zbigniew Bochenek



*АНДЖЕЙ САС-УХРЫНОВСКИ  
МАРИЯ ЦИСАК  
АНДЖЕЙ САС  
ЛЮЦИАН СИПОРСКИ*

**МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ОСНОВНАЯ  
ГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ СТРАНЫ /POGK 97/**

**Резюме**

Основная гравиметрическая сеть страны была построена в шестидесятых годах и не удовлетворяет уже современных потребностей геодезии, особенно в свете всё более широкого применения спутниковых измерительных технологий ввиду повышения требований относительно знаний положения геоида.

В 1977 году был разработан в Институте геодезии и картографии, а затем утверждённый Главным управлением геодезии и картографии, общий проект модернизации основы. В 1978-1987 годах были закреплены бетонными блоками все новые пункты модернизированной гравиметрической основы, однако условия для измерений появились лишь в 1992 году в связи с возможностью покупки ИГиК современных гравиметров фирмы LaCoste & Romberg.

Проект гравиметрической основы, верифицированный группой экспертов Комитета геодезии Польской Академии Наук, был повторно утверждён тогдашним Департаментом Главного геодезиста страны в 1993 году. Новая гравиметрическая основа страны охватывает: фундаментальный пункт, находящийся в Обсерватории Института геодезии и картографии в Боровой Гуре, на котором уже многократно были выполнены абсолютные определения ускорения силы тяжести; 16 абсолютных пунктов, из которых 11 уже измерены; 351 закреплённых полевых пунктов и два меридиальных калибровочных базиса, опирающихся на 6 из вышеуказанных абсолютных пунктов.

К измерениям этой основы Институт приступил в 1994 г., а измерительные работы были окончательно завершены в 1997 г.

Величины разниц ускорения силы тяжести вычислялись с применением шкал гравиметров, определённых на отечественном гравиметрическом базисе, а затем в 1997 г. были перечислены в системе, определённой с помощью абсолютных пунктов.

Всю основу составляют в общем 674 звена, на которых было проведено 722 измерения разниц ускорения. Следует подчеркнуть, что 62% ошибок измеренных величин на звеньях сети не превышает 0,010 mGal при критерии правильности измерения звена, определяющем величину максимальной ошибки 0,020 mGal.

Перевод: Ружа Толстикова

