

TADEUSZ WYRZYKOWSKI

528.381(083.133)

Zasadnicze elementy technologii oraz wartości dopuszczalne i kryteria przewidywane w projekcie nowo opracowywanej polskiej instrukcji niwelacji państwowej I klasy

Od Autora

Potrzeba przepracowania dotychczas obowiązującej „Tymczasowej instrukcji niwelacji precyzyjnej I i II klasy” z 1956 roku [3] wynika z faktu przewidywanego na najbliższe lata nowego pomiaru całej państwowej sieci niwelacji precyzyjnej I klasy — sieci, która zgodnie z jej projektem, uwzględniającym aktualne potrzeby gospodarcze, techniczne i naukowe — związane głównie z badaniami współczesnych pionowych ruchów skorupy ziemskiej — obejmuje ogółem około 8,5 tys. km linii niwelacyjnych. Nowe, pilnie potrzebne opracowania instrukcji — na razie w pierwszym rzędzie w odniesieniu do niwelacji I klasy — musi uwzględniać również wyżej wymienione potrzeby, wiążące się z podwyższeniem wymagań w stosunku do wyników niwelacji, biorąc jednocześnie pod uwagę aktualne możliwości instrumentalne oraz aktualny stan wiedzy z zakresu techniki pomiaru niwelacji i wpływu warunków zewnętrznych na wyniki pomiaru, a także — aktualne poglądy na sposób najwłaściwszego opracowania wyników niwelacji precyzyjnej na dużym obszarze.

Projekt takiej nowej instrukcji, przepracowywany na razie w odniesieniu do niwelacji I klasy, jest od paru lat opracowywany w Pracowni Niwelacji Precyzyjnej i Ruchów Skorupy Ziemskiej Zakładu Geofizycznych Problemów Geodezji IGiK. Treść projektu tej instrukcji podlegała już szerokiemu ankietowaniu. Do ostatecznego ukończenia opracowania brak jeszcze tych elementów, które wiązać się będą z przewidywanym użyciem w nowym pomiarze sieci niwelacji I klasy nowych typów samopoziomujących niwelatorów precyzyjnych.

Poniżej przedstawione opracowanie omawia właśnie zasadnicze elementy technologii, wartości dopuszczalne i kryteria przewidywane w projekcie

nowo opracowywanej instrukcji niwelacji państwowej 1 klasy. Treść opracowania powstała w oparciu o treść dwu komunikatów przedstawionych na międzynarodowym sympozjum z zakresu niwelacji precyzyjnej (CSRS, Hluboka nad Wełtawą, wrzesień 1972 r.)¹. Fakt ten znajduje odbicie w skondensowanej formie ujęcia tematu.

* * *

Nową polską sieć niwelacji precyzyjnej 1 klasy charakteryzować będą następujące wielkości: długość poligonów — do 750 km (przeciętnie 500 km), długość linii — przeciętnie 110 km, długość sekcji — 30÷90 km, długość odcinka — do 2,5 km.

Pomiar odcinka wykonywany będzie w kierunku „tam” i „z powrotem”, w różnych dniach, a nawet w różnych porach dnia (w różnych warunkach).

Kolejność odczytów łąt na stanowisku nieparzystym: tył, przód, przód, tył; na stanowisku parzystym: przód, tył, tył, przód.

Zasadnicza długość celowej — od 8 do 35 m (w określonych warunkach dopuszczalna: od 5 do 40 m).

Wysokość celowej — około 1,5 m (w trudnych warunkach — do 0,8 m, a nawet przy celowej do 10 m wysokość do 0,5 m).

Łaty niwelacyjne stawiane będą na stalowych klinach o długości ostrza od 15 do 25 cm (w niektórych warunkach dopuszczalne będą podstawki — żabki o wadze 7 kg).

Codziennie, przed rozpoczęciem pomiaru, powinna być sprawdzana równoległość osi libeli do osi celowej, przy wykorzystaniu na stanowisku mimośrodowym celowych o długości 8 i 32 m. Dopuszczalna rozbieżność między wyznaczeniami przewyższenia — $\Delta \leq 0,5$ mm (kąt $i < 5''$).

Różnica miejsc zer podziału obu łąt stanowiących parę nie powinna być większa niż $\pm 0,2$ mm.

Różnica odczytów łąty, stawianej różnymi, skrajnymi punktami stopki tej łąty, nie powinna być większa niż $\pm 0,25$ mm.

Pomiar niwelacji precyzyjnej 1 klasy powinien być wykonywany tylko w odpowiednich warunkach atmosferycznych, przy dobrej widoczności spokojnego obrazu podziału łąty (m.in. temperatura — od 0 do $+25^{\circ}\text{C}$, szybkość wiatru — do 6 m/sek).

¹ Wyrzykowski T.: Zasadnicze elementy technologii pomiaru niwelacji, przewidywane w nowo opracowywanej polskiej instrukcji niwelacji państwowej 1 klasy, oraz zagadnienie rozkładu pomiarów sieci w czasie.

Wyrzykowski T.: Ocena i kryteria dokładności sieci niwelacyjnej w nowo opracowywanej polskiej instrukcji niwelacji państwowej 1 klasy oraz ogólne zagadnienie niejednoznaczności oceny błędu systematycznego niwelacji precyzyjnej.

Skład zespołu pomiarowego: 1 inżynier, 1 technik, 4 pomiarowych (pomiarowi i obserwator powinni mieć co najmniej 1,70 m wzrostu).

Każdy odcinek niwelacji powinien się składać z parzystej liczby stanowisk.

Jako kryterium dokładności i poprawności pomiaru na stanowisku wprowadzono następujące wielkości:

1. Różnicę s między stałą łatą teoretyczną i zaobserwowaną (tab. 1).

Tablica 1

dla długości celowej	$\leq 20 \text{ m}$	$> 20 \text{ m}$
dopuszczalna wartość s	$\leq 0,12 \text{ mm}$	$\leq 0,16 \text{ mm}$

2. Różnicę n między wyznaczeniami przewyższeń z obserwacji na dwu podziałach łat (tab. 2).

Tablica 2

dla długości celowej	$\leq 20 \text{ m}$	$> 20 \text{ m}$
dopuszczalna wartość n	$\leq 0,16 \text{ mm}$	$\leq 0,20 \text{ mm}$

Jako kryterium pomiaru odcinka przyjęto wartość różnicy q między przewyższeniem z pomiaru „tam” i „z powrotem”:

$$q \leq \pm 1,2 \cdot \sqrt{R} \text{ mm},$$

(gdzie R — długość odcinka w km).

Jako kryterium dla pomiaru sekcji lub linii przyjęto:

$$[q] \leq \pm 2,25 \cdot \sqrt{L} \text{ mm},$$

(gdzie L — długość sekcji lub linii w km)

oraz średni błąd

$$m = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{R} \right] \cdot \frac{1}{n_R}} \leq \pm 0,40 \text{ mm/km}.$$

(gdzie n_R — liczba odcinków w sekcji lub linii).

Przewidziane jest obliczanie wartości średnich błędów przypadkowych η i systematycznych σ , wzorami Lallemanda, dla poszczególnych sekcji i linii. Wartości te jednak nie stanowiłyby kryterium, ze względu na swą

niepewność — szczególnie dla krótkich linii — i zależność od długości linii, szczególnie w odniesieniu do wartości σ [1], [2].

Dla błędu zamknięcia φ poligonu niwelacyjnego (przed wprowadzeniem poprawek grawimetrycznych) ustalono kryterium

$$\varphi \leq \pm 2 \sqrt{F} \text{ mm},$$

(gdzie F — długość poligonu niwelacyjnego w km).

Po wprowadzeniu poprawek grawimetrycznych obowiązuje kryterium

$$\varphi \leq \pm 1,5 \sqrt{F} \text{ mm}.$$

Przy nawiązywaniu pomiarów jednej linii do drugiej — jeśli okres między ich pomiarami był dłuższy niż 4 miesiące — należy pomierzyć ponownie jeden wspólny odcinek, przy czym różnica między wyznaczonymi przewyższeniami nie powinna być większa niż $\pm 2,5 \sqrt{R}$ mm.

Przy przechodzeniu przez przeszkody, wymagające stosowania długich celowych, przyjęto jako kryterium wartość średniego błędu M średniej wartości przewyższenia, wyznaczonego z n pomiarów:

$$M = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} \leq \pm 0,6 \sqrt{R} \text{ mm}.$$

Średni błąd komparacji średniego metra łąty (wykonywanej na początku i końcu sezonu pomiarowego) nie powinien być większy niż $\pm 0,015$ mm/m.

Do wszystkich odcinków linii sieci niwelacji państwowej 1 klasy wprowadzane są poprawki ze względu na nierównoległość powierzchni poziomych w systemie wysokości normalnych, z warunkiem iż średni błąd ich wyznaczenia dla odcinka niwelacji nie może być większy niż 0,05 mm.

Dla podniesienia dokładności wyznaczenia I członu poprawki normalnej

I człon = $\frac{\gamma_0^B - \gamma_0^A}{\gamma_{\text{sr}}} \cdot H_{\text{sr}}$, którego błąd wyznaczenia dla odcinka nie powinien być większy niż $\pm 0,04$ mm, ze względu na możliwy błąd wyznaczenia średniej wysokości tego odcinka powinno być stosowane następujące postępowanie:

W przypadku gdy wewnątrz odcinka AB (rys. 1) znajduje się taki punkt C o wyraźnie ekstremalnej wysokości, że przy rozbiciu tego odcinka na dwie części, AC i CB , ogólna średnia wysokość odcinka AB (oznaczona jako $H_{\text{sr}}^{A^C+CB}$) zmieni się o więcej niż $|\Delta H_{\text{sr}}| = 20$ m, w stosunku do średniej wysokości H_{sr}^{AB} , wyznaczonej tylko z punktów końcowych A i B , wtedy punkt C powinien być zaznaczony w dzienniku polowym (zaznaczone odpowiednie stanowisko łąty).

Ocena dokładności pomiaru sieci państwowej niwelacji 1 klasy, jako całości, zostanie oparta przed wyrównaniem na następujących wzorach na średnie błędy:

a) błąd pomiaru 1 km niwelacji, wyznaczony z różnic q między pomiarami odcinków w kierunku głównym i powrotnym,

$$m_1 = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{R}\right] \cdot \frac{1}{n_R}},$$

b) błąd pomiaru 1 km niwelacji, wyznaczony z różnic λ lub μ między dwoma pomiarami sekcji lub linii, w kierunku głównym i powrotnym,

$$m_2 = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{\lambda^2}{L}\right] \cdot \frac{1}{n_L}},$$

oraz

$$m'_2 = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{\mu^2}{L'}\right] \cdot \frac{1}{n_{L'}}},$$

c) błąd pomiaru 1 km niwelacji, wyznaczony z odchyłek φ zamknięcia poligonów sieci (łącznie z poligonem obwodowym),

$$m_3 = \pm \sqrt{\left[\frac{\varphi^2}{F}\right] \cdot \frac{1}{n_F}},$$

d) błąd przypadkowy pomiaru 1 km niwelacji,

$$\eta = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{L}\right] - \frac{[R^2]}{[L]^2} \cdot \left[\frac{\mu^2}{L'}\right]},$$

(dla sieci powinno być zachowane kryterium $\eta \leq \pm 0,40$ mm/km),

e) błąd systematyczny pomiaru 1 km niwelacji,

$$\sigma = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{[L]} \cdot \left[\frac{\mu^2}{L'}\right]}$$

oraz

$$\sigma_\varphi = \pm \sqrt{\frac{1}{[L^2]} \cdot \left\{ \frac{[\varphi^2]}{2} - \eta^2 \cdot [L] \right\}}$$

(dla sieci powinno być zachowane kryterium $\sigma \leq \pm 0,12$ mm/km).

Poszczególne symbole występujące w tych wzorach oznaczają:

R, L, L', F — długości: odcinka R , linii lub sekcji L , linii wyrównującej L' oraz poligonu niwelacyjnego F w km,

$n_R, n_L, n_{L'}, n_F$ — liczba odpowiednich elementów w sieci,

λ — suma wartości różnic q dla danej linii lub sekcji w mm,

μ — różnica rzędnych końcowych punktów tzw. linii wyrównującej, wyznaczonej jako aproksymacja wykresu wartości $[q]$, dla sekcji lub jej

części, charakteryzującej się w przybliżeniu jednakowym wpływem błędu systematycznego, wyrażona w mm.

Kryterium błędu pomiaru 1 km niwelacji sieci, po wyrównaniu:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{r}} \leq \pm 1 \text{ mm/km.}$$

Autor zwracał już przy innych okazjach [1], [2] uwagę, iż obecnie stosowane sposoby oceny błędu systematycznego opartego na wartościach μ , nie są jednoznaczne i prowadzą do możliwości znacznych rozbieżności w ocenie tego błędu, zależnej przede wszystkim od przyjętej przeciętnej długości L' (lub L).

W polskim opracowaniu instrukcji przyjęto, że ponieważ pomiar sekcji (od 30 do 90 km) wykonywany jest przez jednego obserwatora oraz przez jeden i ten sam zespół pomiarowy (jednorodny materiał niwelacyjny), należy więc dążyć do ustalenia jednej linii wyrównującej dla całej sekcji. Jeśli jednak z przebiegu wykresu wartości $[q]$ widać, że występują wyraźne zmiany wpływu błędu systematycznego i że warunek odchyłeń rzędnych linii wyrównującej od linii łamanej wykresu, w granicach ± 4 mm, nie może być przez jedną linię wyrównującą spełniony, wtedy należy zastosować więcej niż jedną linię wyrównującą, dzieląc sekcję na części o długości L' , na których nie zachodzą wyraźne zmiany wpływu błędu systematycznego. Długości linii wyrównujących dla całej sekcji lub jej części powinny być w zasadzie rzędu 50 km i nie krótsze niż 30 km.

Po ustaleniu długości L' , dla której ma być wyznaczona linia wyrównująca, linia ta, a następnie wartość μ zostają wyznaczone metodą graficzno-analityczną K. Kučery.

Biorąc pod uwagę względy merytoryczne, ekonomiczne i organizacyjne, poszczególne kryteria dokładności pomiaru niwelacji starano się tak ustawić, by były one najostrzejsze dla najmniejszych elementów składowych (stanowisko, odcinek), z których składają się następnie większe elementy (linia, poligon) sieci niwelacyjnej. Wszelkie bowiem ewentualne powtórzenia pomiaru powinny odnosić się do elementów małych, w pobliżu miejsca pobytu zespołu pomiarowego. Pomiar tych elementów z zachowaniem przewidzianej techniki pomiaru, pośrednich sprawdzianów i kryteriów, powinien w zasadzie zapewnić zachowanie kryteriów dla większych elementów sieci (linia, poligon), stanowiących ich sumę.

Opracowując technologię i kryteria dokładności pomiaru w nowym projekcie instrukcji niwelacji precyzyjnej, zdawano sobie sprawę z wagi właściwego ustawienia systemu wynagrodzenia na ostateczną jakość wyników pomiaru. Na przykład system płac premiujący zdecydowanie liczbę kilometrów pomiaru niwelacji — a nie jego jakość — nie będzie skłaniał do osiągania możliwie wysokiej jego dokładności (np. pomiar będzie mógł być

Zestawienie kilku zasadniczych elementów technologii i kryteriów pomiaru niwelacji precyzyjnej 1 klasy
w instrukcjach różnych krajów

Element	Instrukcja	Polska		ČSRS [6]	NRD [4]	ZSRR [5], [7]
		dotych- czasowa [3]	nowe opracowanie			
Maksymalna długość celowej d na stanowisku (m)		40	35 (40)	40	40	50
Maksymalna wartość różnicy s między stałą łatą teoretyczną i zaobserwowaną na stanow- isku (mm)		0,30	0,12 (przy $d \leq 20$ m) 0,16 (przy $d > 20$ m)	0,1		
Maksymalna wartość różnicy n między przewyższeniami wy- znaczonymi z 2 podziałów łat na stanowisku (mm)		0,20	0,16 (przy $d \leq 20$ m) 0,20 (przy $d > 20$ m)	0,2	0,15	0,5
Maksymalna wartość różnicy q między przewyższeniami z po- miaru odcinka w dwu kierun- kach (mm)		$2\sqrt{R}$	$1,2\sqrt{R}$	$1,5\sqrt{R}$	$0,8\sqrt{R}$ (dla 70%) $1,6\sqrt{R}$ (dla 30%)	$3\sqrt{R}$ (przy $n < 15/\text{km}$) $4\sqrt{R}$ (przy $n > 15/\text{km}$) n — liczba stanowisk
Maksymalna wartość $[\varphi] = \lambda$ dla sekcji i linii (mm)		$3\sqrt{L}$	$2,25\sqrt{L}$	$1,5\sqrt[3]{L^2}$ (przy $L < 50$ km) $3\sqrt{L}$ (przy $L > 50$ km)		$3\sqrt{L}$ (przy $n < 15/\text{km}$) $4\sqrt{L}$ (przy $n > 15/\text{km}$) n — liczba stanowisk
Maksymalna wartość średnie- go błędu pomiaru linii $m = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{R}\right] \cdot \frac{1}{n_R}}$ (mm/km)		0,50	0,40	$0,4 + \frac{0,71}{\sqrt{n_R}}$		
Maksymalna wartość odchyłki φ zamknięcia poligonu (mm)		$2\sqrt{F}$	$1,5\sqrt{F}$	$2\sqrt{F}$		$5\sqrt{F}$

wtedy wykonywany nie tylko w okresach dnia i w warunkach najbardziej do tego odpowiednich).

Kończąc to krótkie naświetlenie technologii i kryteriów, przewidywanych w nowym opracowaniu polskiej instrukcji niwelacji precyzyjnej 1 klasy, podajemy w formie tablicy — celem porównania — zestawienie głównych kryteriów stosowanych: w dotychczasowej instrukcji polskiej, w nowym jej opracowaniu oraz w instrukcjach CSRS, NRD i ZSRR [3], [4], [5], [6], [7].

L I T E R A T U R A

- [1] Wyrzykowski T.: „Der die systematischen und zufälligen Fehler bei der Auswertung des Präzisionsnivelements beeinflussende Faktor nach den Formeln von Lallemand”, Geodätische und Geophysikalische Veröffentlichungen, Reihe III, Heft 14, Berlin 1969.
- [2] Wyrzykowski T.: „Non-univocality of up to date systematic error evaluation in precise levelling at various average lengths of mean straight lines or levelling lines. Proposal of a new evaluation mode of this error”. Komunikat na XV Ogólne Zgromadzenie MUGG, Moskwa, Warszawa 1971.
- [3] Tymczasowa instrukcja niwelacji precyzyjnej I i II klasy. Warszawa 1956.
- [4] Instruktion für das Nivellement I. und II. Ordnung. Berlin 1963.
- [5] Instrukcija po niwelirowaniju I, II, III i IV klassow. Moskwa 1966.
- [6] Nivelační instrukce po práce v Československé jednotné nivelační síti. Praha 1968.
- [7] Instrukcija po wyczisleniju niwelirowok. Moskwa 1971.

Recenzował: doc. dr Jerzy Bokun

Rękopis złożono w Redakcji w marcu 1973 r.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ, А ТАКЖЕ ДОПУСКАЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРЕДУСМАТРИВАЕМЫЕ КРИТЕРИИ В РАЗРАБАТЫВАЕМОМ ПРОЕКТЕ ПОЛЬСКОЙ ИНСТРУКЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ 1 КЛАССА

Резюме

В связи с предусматриваемым новым измерением государственной сети нивелирования 1 класса, в лаборатории прецизионного нивелирования и движений земной коры отделения геофизических проблем геодезии Института геодезии и картографии разрабатывается проект новой технической инструкции, которая учтёт новые повышенные требования в области точности сети прецизионного нивелирования — в связи с растущими хозяйственными, техническими и научными потребностями, а в особенности в связи с исследованиями современных вертикальных движений земной коры. Этот проект учитывает существующие инструментальные возможности, современное состояние знаний в области техники измерений нивелирования, а также — современное отношение к способу наиболее правильной разработки результатов прецизионного нивелирования на большой территории.

В этой краткой работе представлены главные элементы технологии измерения, допускаемые значения и критерия, которые предусматриваются в описываемом проекте инструкции.

Основные критерии и оценка точности нивелирования были бы основаны на следующих величинах:

1. Допустимая разность s между постоянной теоретической рейки и наблюдаемой на посту — $\leq 0,16$ мм.

2. Допустимая разность n между определениями превышений на посту, полученными в результате наблюдения двух делений рейки — $\leq 0,20$ мм.

3. Допустимая разность q между превышением секции, определённым при измерениях „туда” и „обратно” — $\leq 1,2 \sqrt{R}$ мм, где R — длина секции в км.

4. Допустимое значение $[q]$, определённое в результате двукратного измерения секции в части или целой — $2,25 \sqrt{L}$ мм, где L — длина части или целой линии в км.

5. Допустимое значение средней ошибки измерения части или целой нивелирной линии.

$$m = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{R} \right] \frac{1}{n_R}} \leq 0,40 \text{ мм/км},$$

где n_R — количество секции в части или целой линии.

6. Допустимая невязка полигона нивелирной сети после введения гравиметрических поправок

$$\varphi \leq 1,5 \sqrt{F} \text{ мм},$$

где F — длина полигона в км.

7. Для всей сети допустимые значения случайных и систематических ошибок, определённых формулами Лаллеманда, были определены как:

$$\eta = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{L} \right] - \left[\frac{R^2}{L^2} \right] \left[\frac{\mu^2}{L'} \right]} \leq 0,40 \text{ мм/км},$$

а также

$$\sigma = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{[L]} \left[\frac{\mu^2}{L'} \right]} \leq 0,12 \text{ мм/км}$$

где: L' — длина уравнивающей линии в км,

μ — разность ординат концевых пунктов уравнивающей линии, определённой как аппроксимации графика значений $[q]$ для линии или её части, характеризующейся приблизительно одинаковым влиянием систематической ошибки, в мм.

8. Допустимая средняя ошибка измерения 1 км нивелирования сети, определённая из её уравнивания

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{r}} \leq 1 \text{ мм/км}$$

где:

p — весовой коэффициент,

v — поправка из уравнивания в мм,

r — количество уравнений.

TADEUSZ WYRZYKOWSKI

BASIC ELEMENTS OF TECHNOLOGY, AS WELL AS ADMISSIBLE VALUES AND CRITERIA FORESEEN IN THE DRAFT OF NEW POLISH INSTRUCTIONS FOR THE COUNTRY'S FIRST CLASS LEVELLING

Summary

Regarding the forthcoming new survey of the country's first class levelling net, the Laboratory of Precise Levelling and Movements of the Earth's Crust attached to the Department of Geophysical Problems of Geodesy of the Institute of Geodesy and Cartography is busy preparing a new technical instruction. Among other matters, this document is expected to take into account new, increased requirements in accuracy of the network of precise levelling, in due consideration of the steadily growing demands of an economic, technical and scientific character and, in particular, with regard to research on recent vertical movements of the Earth's crust. In this new draft attention is being paid to current instrument capacities, to the present-day status of science in techniques of levelling measurements, and to the influence of external factors upon survey results; also taken into consideration are modern opinions on how results of precise levelling made over large areas should be worked up in the most appropriate manner.

This brief review presents the basic elements of the technology of measurement, including admissible values and criteria which are being applied in the new instruction draft.

The basic criteria and the estimate of the accuracy of the levelling operation would depend on the following factors:

1. The admissible difference between the theoretical constant of the levelling staff and the constant observed at a given station is to be $\leq 0,16$ mm;

2. The admissible difference between differences in height determined at a station, by observations on two divisions of staffs, is to be $\leq 0,20$ mm;

3. The admissible difference q between the differences in height of a section, determined by forward and backward measurements, is to be $\leq 1,2\sqrt{R}$ mm where R — length of section, in km;

4. The admissible difference $[q]$, determined by double measurement of the sections in a part of a line or in a line, is to be $\leq 2,25\sqrt{L}$ mm, where L — length of a part of a line, in km;

5. The admissible value of the mean error, in measuring a part of a line or a line, is to be

$$m = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{R}\right] \cdot \frac{1}{n_R}} \leq 0,40 \text{ mm/km, where}$$

n_R — number of the section in a part of a line or in a line;

6. The admissible error in closing of a levelling traverse, after introduction of gravimetrical corrections, is to be

$$\varphi \leq 1,5\sqrt{F} \text{ mm, where } F \text{ — length of traverse, in km;}$$

7. For the whole network the admissible values of mean errors, both accidental and systematic, determined from Lallemand's equations, have been established as follows:

$$\eta = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{q^2}{L}\right] - \frac{[R^2]}{[L]^2} \cdot \left[\frac{\mu^2}{L'}\right]} \leq 0,40 \text{ mm/km, and}$$

$$\sigma = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{[L]} \cdot \left[\frac{\mu^2}{L'}\right]} \leq 0,12 \text{ mm/km, where}$$

L' — length of compensating line, in km, and

μ — difference in ordinates of the terminal points of a compensating line, determined as the approximation of the graph of a value $[q]$ for a levelling line or its parts, which value is roughly characterized by an identical effect of a systematic error, expressed in mm.

8. The admissible mean error, in measuring 1 km of a levelling network determined from its adjustment, is to be

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[p v v]}{r}} \leq 1 \text{ mm/km, where}$$

p — weight coefficient, v — correction from adjustment, in mm, and
 r — number of equations.