UO‘K: 528.28:531.7:006.91

GEODEZIYA VA KARTOGRAFIYADA O‘LCHASHLARNING NOANIQLIGINI BAHOLASH HOLATI VA METODOLOGIYASI (GNSS-ASOSIDA MISOL BILAN)

Axmedov Barat Mahmudovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti texnika fanlari doktori, professor
Bekimbetov Shodiyor Iskandar o‘g‘li
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, “Metrologiya, texnik jihatdan tartibga solish, standartashtirish va sertifikatlashtirish” kafedrasi tayanch doktoranti
Email: shodiyor.bekimbetov.2018@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada geodeziya va kartografiyada o‘lchash noaniqligini baholash uchun zamonaviy yondashuvlar, GUM metodologiyasi va stoxastik tahlil asosida ko‘rib chiqiladi. GNSS (Global Navigation Satellite System) asosidagi 5 km uzunlikdagi bazis uchun birikkan va kengaytirilgan noaniqliklarni hisoblash bo‘yicha amaliy misol keltirilgan. O‘lchash modelini qurish bosqichlari, xatoliklarni tahlil qilish va noaniqlikni baholash hisobotini tayyorlash jarayonlari ko‘rsatilgan. Geodezik o‘lchashlarni metrologik ta’minlash bo‘yicha xalqaro standartlar doirasida tavsiyalar berilgan.

Kalit so‘zlar: *geodeziya, GNSS, metrologiya, o‘lchash noaniqligi, bazis, birikkan noaniqlik, GUM (O‘lchash noaniqligini ifoda etish bo‘yicha qo‘llanma), MHK (Eng kichik kvadratlar usuli).*

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к оценке неопределённости измерений в геодезии и картографии на основе методологии ГУМ и стохастического анализа. Приведён пример практического расчёта комбинированной и расширенной неопределённости для ГНСС (Глобальная навигационная спутниковая система)-базиса длиной 5 км при статической съёмке. Показаны этапы построения модели измерений, анализа погрешностей и формирования отчёта об оценке неопределённости. Даны рекомендации по метрологическому обеспечению геодезических измерений в рамках действующих международных стандартов.

Ключевые слова: геодезия, ГНСС, метрология, неопределённость измерений, базис, комбинированная неопределённость, ГУМ (Руководство по выражению неопределённости измерений), МНК (Метод наименьших квадратов).

Abstract. This article discusses modern approaches for assessing measurement uncertainty in geodesy and cartography, based on GUM methodology and stochastic analysis. An example is provided for calculating combined and expanded

uncertainties for a 5 km baseline using GNSS (Global Navigation Satellite System). The stages of constructing the measurement model, analyzing errors, and preparing the uncertainty assessment report are outlined. Recommendations are given within the framework of international standards for metrological assurance of geodetic measurements.

Keywords: geodesy, GNSS, metrology, measurement uncertainty, baseline, combined uncertainty, GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), MHK (Least Squares Method).

Kirish.

Hozirgi zamon texnologiyalari fazoviy o‘lchashlarda geodeziya va kartografiyada yuqori darajadagi aniqlik va katta hajmdagi ma’lumotlar bilan ajralib turadi. Biroq, har qanday o‘lchashda aniqlikni belgilovchi noaniqlik mavjud bo‘lib, bu yakuniy koordinatalar va masofalarning ishonchliligini ta’minlaydi.

Geodeziyada noaniqlikni baholash metrologik ta’minotning majburiy bosqichidir (ISO/IEC 17025, JCGM 100:2008 - Metrologiya bo‘yicha qo‘shma qo‘mita), ayniqsa davlat geodezik tarmoqlarini yaratishda, deformatsion monitoring va kadastr o‘lchashlarida muhim ahamiyatga ega.

Global navigatsiya sun’iy yo‘ldosh tizimi (GNSS) uchun bu ayniqsa muhim, chunki yakuniy koordinatalar ko‘plab stoxastik (bu tasodifiy, ya’ni natijasi oldindan aniq bo‘lmagan o‘zgaruvchi yoki hodisa) omillarga bog‘liq — atmosfera holati, sun’iy yo‘ldoshlarning geometriyasi, qabul qiluvchilarning sifati, antennalar parametrlar va orbit modellari.

O‘lchashda ifoda etish bo‘yicha qo‘llanma (GUM) ga muvofiq, o‘lchash natijasi quyidagicha ifodalanadi:

$$Y=\bar{y}\pm U, \qquad (1)$$

bu yerda $U=k\cdot u_c$— kengaytirilgan noaniqlik, u_c— birikkan standart noaniqlik, k— qamrash koeffitsienti (odatda k=2 95% ishonchlilik darajasi bilan).

Umumiy noaniqlik, **A** (statistik) va **B** (noto‘g‘ri va avvaldan bog‘liq bo‘lmagan) turlaridan tashkil topgan bo‘lib, noaniqliklarning tarqalish qonuniga muvofiq yig‘iladi:

$$u_c{}^2(y)=\sum_i\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 u^2(x_i)+2\sum_{i<j}\frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j}cov(x_i,x_j) \qquad (2)$$

Bu yerda:

- $u_c(y)$— natijaning birikkan standart noaniqligi;
- $u(x_i)$ — kirish kattaliklarining standart noaniqliklari;
- $cov(x_i,x_j)$— kovariatsiya (o‘zaro bog‘liqlik) qiymati;
- $\frac{\partial f}{\partial x_i}$— funksiyaning x_i bo‘yicha xususiy hosilasi.

GNSS-o‘lchashlarida noaniqlik manbalarining umumiyligi quyidagilardan iborat:

– Sun’iy yo‘ldosh efemeridlari va soatlardagi xatoliklar;

ISSN 3030-3907

–troposfera va ionosfera kechikishlari;
– fazaviy noaniqliklar;
– ko‘p yo‘nalishli signallar (signallar devorlar yoki boshqa ob’ektlardan aks etib, qabul qiluvchi tomonidan kechikish bilan aniqlanadigan xato) va qabul qiluvchilardagi shovqinlar;
– Sun’iy yo‘ldoshlarning geometriyasi (DOP — Aniqroq bo‘lish uchun tarqalish ko‘rsatkichi, ya’ni sun’iy yo‘ldoshlarning qabul qiluvchi bilan nisbatan joylashuvi va koordinatalarni aniqlashdagi aniqlikka ta’siri).

Umumiy koordinata xatosi odatda Q kovariatsiya matritsasi orqali tavsiflanadi:

$$Q=\sigma_0^2(A^TPA)^{-1} \quad (3)$$

Bu yerda A — kuzatuv tenglamalarining koeffitsiyentlar matritsasi, P — vaznlar matritsasi, σ_0^2— yagona dispersiya, Q—kovariatsion matritsa, A^T —A matritsaning transponirlangan shakli, $(A^TPA)^{-1}$ —bu ifoda teskari matritsa orqali yechim aniqligini hisoblash uchun ishlatiladi.

Misol uchun, A va B punktlari o‘rtasidagi masofa 5 km bo‘lgan bazisda doimiy faoliyat ko‘rsatadigan sun’iy yo‘ldosh tayanch stansiyalarida o‘lchash amalga oshirildi. O‘lchashlar ikki chastotali qabul qiluvchi (GPS) qurilmalariga ma’lumotlar 45 daqiqa vaqt oralig‘ida qabul qilindi. O‘lchash natijalariga tuzatma kiritish *trimble business center* dasturiy ta’minotida amalga oshirildi.

1-jadval

№	Parametr	Belgilash	Qiymat	Birlik
1	Bazis uzunligi	L	5012.3	m
2	Troposfera xatoligi	u_{trop}	1.5	mm
3	Ionosfera xatoligi	u_{iono}	1.2	mm
4	Markaziy antennaning fazaviy xatoligi	u_{ant}	0.8	mm
5	O‘lchashlar fazaviy xatoligi (qabul qiluvchi shovqini)	u_{phase}	1.0	mm
6	Geometrik omil	*PDOP*	1.8	-

Masofa (L- uch o‘lchovli fazodagi masofa formulasi) funksiyasi nuqtalarning koordinatalari orqali aniqlanadi:

$$L=\sqrt{(X_B-X_A)^2+(Y_B-Y_A)^2+(Z_B-Z_A)^2}. \quad (4)$$

Differensial shakl quyidagicha ko‘rinishga ega:

$$dL=\frac{(X_B-X_A)d(X_B-X_A)+(Y_B-Y_A)d(Y_B-Y_A)+(Z_B-Z_A)d(Z_B-Z_A)}{L}. \quad (5)$$

ISSN 3030-3907

Bunda “A” va “B” nuqtalarning koordinata xatoliklari GNSS ishlov berish natijasida olingan mos standart og‘ishlar u_X, u_Y, u_Z orqali ifodalanadi.

Punktlar orasidagi masofa bo‘yicha umumiy standart noaniqlik:

$$u_c(L)=\sqrt{u_{\text{trop}}^2+u_{\text{iono}}^2+u_{\text{ant}}^2+u_{\text{phase}}^2}\times PDOP. \qquad (6)$$

Qiymatlarni qo‘yamiz:

$$u_c(L)=\sqrt{(1.5^2+1.2^2+0.8^2+1.0^2)}\times 1.8=\sqrt{5.33}\times 1.8=2.31\times 1.8=4.16 \text{ mm}.$$

Shunday qilib, 5 km uzunlikdagi bazisning standart kombinatsiyalangan noaniqligi 4.16 mm tashkil etadi.

Qamrov koeffitsienti bo‘yicha k=2 (95% Ishonchlilik darajasi):

$$U=k\cdot u_c(L)=2\times 4.16=8.32 \text{ mm}. \qquad (7)$$

Yakuniy natija:

L = 5012.35 \pm 0.0083~\text {m (ishonchli ehtimollik bilan 95%)}}.

Natijalarni talqin qilish

5 km uzunligidagi bazis uchun nisbiy aniqlik quyidagicha:

$$\frac{U}{L}=\frac{0.0083}{5012.35}=1.66\times 10^{-6},$$

bu **1:600 000** nisbatga mos keladi, bu davlat geodezik tarmog‘ining asosiy chiziqlari talablariga javob beradi (GOST R 51794–2008 bo‘yicha 1:300 000 dan kam bo‘lmagan).

10 km gacha bo‘lgan bazisda statik toposyomka ishlarida nazariy jihatdan noaniqlik quyidagicha hisoblanadi. Umumiy xatolikka asosiy ta’sir ko‘rsatadigan omillar atmosfera kechikishlari va geometrik faktor hisoblanadi.

Haqiqiy sharoitlarda yig‘indi noaniqligi yomon satelitar konfiguratsiya (PDOP > 2.5) yoki qisqa kuzatuv seanslari bilan oshishi mumkin. (<20 min).

Aniqlikni nazorat qilish uchun tavsiya etiladi:

1. Mustaqil sessiya orqali bazisni takroriy o‘lchash va koordinatalarni taqqoslash (farq $\le 2\cdot u_c$).
2. Tekshirish qoldiqlari tenglashtirishdan so‘ng tizimli tendentsiyaning yo‘qligini tekshirish.
3. Nomutanosiblik haqida hisobot tayyorlash, xatolik turlari, modellari va qamrash parametrlarini ko‘rsatish.
4. Natijalarni standart punktlar bilan taqqoslash (ma’lum GGS koordinatalari bilan).

Xulosa. Olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) metodologiyasi hamda stoxastik yondashuv GNSS (Global Navigation Satellite System) o‘lchashlaridagi noaniqlikni baholashda yuqori samaradorlikka ega. Ushbu yondashuvlar o‘lchash

ISSN 3030-3907

natijalarining metrologik ishonchliligini oshiradi, ularni xalqaro me'yorlarga mos ravishda tahlil qilish imkonini beradi va o'lchash tizimlarining sifatini aniqlik bilan ifodalashga xizmat qiladi.

Tajriba natijalariga ko'ra, 5 km uzunlikdagi bazis uchun statik kuzatuv sharoitida kombinatsiyalashgan noaniqlik 4.16 mm, kengaytirilgan noaniqlik esa 8.32 mm (95% ishonch darajasi) miqdorida aniqlangan. Bu ko'rsatkichlar natijada o'lchashning nisbiy aniqligi taxminan 1:600 000 darajada ekanligini bildiradi. Boshqacha aytganda, ushbu aniqlik darajasi geodezik ishlar, deformatsion monitoring, hamda yuqori aniqlik talab qilinadigan muhandislik-geofizik tadqiqotlar uchun yetarli va ishonchli hisoblanadi.

Mazkur metodika yordamida GNSS o'lchash natijalarining sifatini ob'yektiv tarzda baholash, ularni metrologik jihatdan asoslash va xalqaro akkreditatsiyaga mos hisobotlar tayyorlash imkoniyati yaratiladi. Shu bilan birga, o'lchash natijalarining ishonchliligi oshgani sayin, geofizik va geodinamik jarayonlarni tahlil qilishda, hamda tabiiy hodisalarni monitoring qilishda olinadigan ma'lumotlarning aniqligi ham sezilarli darajada ortadi. Umuman olganda, GUM metodologiyasi asosida noaniqlikni baholash GNSS texnologiyalarini amaliyotda qo'llashda, ilmiy izlanishlar natijalarini ishonchli tahlil etishda hamda o'lchash tizimlarining sifatini nazorat qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. JCGM 100:2008. *Evaluation of Measurement Data — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM).*
2. JCGM 101:2008. *Evaluation of Measurement Data — Supplement 1: Propagation of Distributions Using a Monte Carlo Method.*
3. ISO/IEC 17025:2017. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.*
4. ГОСТ Р 51794–2008. *Глобальные навигационные спутниковые системы. Методы и средства измерений.*
5. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. *GPS — Theory and Practice.* Springer-Verlag, 2008.
6. Koch K.-R. *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models.* Springer, 1999.
7. Teunissen P.J.G., Kleusberg A. (eds.) *GPS for Geodesy.* Springer, 1998.
8. Niell A.E. (1996). *Global Mapping Functions for the Atmosphere in Geodesy.*
9. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. *GPS Satellite Surveying.* Wiley, 2015.
10. Кузнецов В.И. *Метрологическое обеспечение геодезических измерений.* М., 2019

ISSN 3030-3907