

UO‘K: 528.28; 519.24

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2025-4.16>

GPS TIZIMIDA O‘LCHASH NATIJASIGA TA’SIR ETUVCHI OMILLAR NOANIQLIGINI BAHOLASH VA DARAJALASH

Axmedov Barat Maxmudovich¹ - texnika fanlari doktori, (DSc), professor, bosh mutaxassis,
ORCID: 0009-0008-6081-9815, E-mail: bm_ahmedov@umail.uz;

Valiyev Moxirxo‘ja Kamolovich¹ - iqtisodiyot fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), palata raisi,
ORCID: 0009-0003-1555-6896;

Bekimbetov Shodiyor Iskandar o‘g‘li² - doktorant (PhD),
ORCID: 0009-0009-1534-9006, E-mail: shodiyor.bekimbetov.2018@gmail.com

¹ O‘zbekiston Respublikasi Urbanizatsiya va uy-joy bozorini barqaror rivojlantirish milliy qo‘mitasi
huzuridagi Kadastr agentligi davlat kadastrlari palatasi, Toshkent sh., O‘zbekiston

² Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada GPS navigatsiya tizimlarida amalga oshiriladigan o‘lchash jarayonlarining aniqligi va ishonchliligiga ta’sir ko‘rsatuvchi asosiy tashqi va ichki omillar har tomonlama tahlil qilingan. Tadqiqot davomida global joylashuvni aniqlash tizimlarida yuzaga keladigan xatolik va noaniqlik manbalari ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Xususan, ionosfera va troposferaning elektromagnit signallar tarqalishiga ko‘rsatadigan ta’siri, sun’iy yo‘ldoshlar joylashuvining geometriyasi (DOP ko‘rsatkichlari), multipat hodisasi, GPS qabul qilgichlarining texnik va funksional xarakteristikalari, shuningdek, inson omili bilan bog‘liq xatoliklar alohida omillar sifatida ko‘rib chiqilgan. Har bir omilning o‘lchash natijalariga ta’sir darajasi aniqlanib, ularning noaniqlik komponentlari miqdoriy baholangan. Tadqiqot natijalarini aniq ifodalash maqsadida hisoblash formulalari va jadval ko‘rinishidagi ma’lumotlardan foydalanilgan. Ushbu yondashuv orqali umumiy o‘lchash xatoligi aniqlanib, GPS tizimlarida aniqlikni oshirish bo‘yicha xulosalar chiqarilgan. Maqola natijalari geodeziya, navigatsiya va sun’iy yo‘ldosh texnologiyalari sohasidagi mutaxassislar uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: geodeziya, kartografiya, GPS, metrologiya, o‘lchash noaniqligi, bazis, birikkan noaniqlik, GLONASS, Galileo, BeiDou, topografik xarita, DGPS (Differential GPS), RTK (Real Time Kinematic), Multipat (ko‘p yo‘lli tarqalish), variats, standart og‘ish.

УДК: 528.28; 519.24

ОЦЕНКА И РАНЖИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМЕ GPS

Ахмедов Барат Махмудович¹ - доктор технических наук (DSc), профессор, главный специалист;

Валиев Мохирхўжа Камолович¹ - доктор философии по экономическим наукам (PhD),
председатель палаты;

Бекимбетов Шодиёр Искандар угли² - докторант (PhD)

¹ Государственная кадастровая палата Агентства кадастров при Национальном комитете по устойчивому развитию урбанизации и рынка жилья Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Узбекистан

² Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье проведён анализ основных внешних и внутренних факторов, влияющих на процессы измерений в GPS навигационных системах. Особое внимание уделено источникам неопределённости, оказывающим влияние на точность и достоверность результатов позиционирования. Рассмотрены влияние ионосферы и тропосферы на распространение сигналов, геометрия расположения спутников, эффект

мультипути, характеристики приёмников, а также человеческий фактор как основные источники погрешностей измерений. Для каждого фактора определён уровень неопределённости и выполнена его количественная оценка. С использованием формул и табличных данных проведена оценка суммарной погрешности измерений. Полученные результаты имеют практическое значение для повышения точности GPS-измерений и могут быть использованы в области геодезии, навигации и спутниковых технологий.

Ключевые слова: геодезия, картография, GPS, метрология, неопределённость измерений, базис, комбинированная неопределённость, ГЛОНАСС, Галилео, BeiDou, топографическая карта, DGPS (дифференциальный GPS), RTK (кинематика в реальном времени), многолучевое распространение, дисперсия, стандартное отклонение.

UDC: 528.28; 519.24

EVALUATION AND RATING OF UNCERTAINTY OF FACTORS AFFECTING THE MEASUREMENT RESULTS IN THE GPS SYSTEM

Akhmedov, Barat Makhmudovich¹ - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Specialist;

Valiev, Mokhirkhoja Kamolovich¹ - Doctor of Philosophy in Economics Sciences (PhD),
Chairman;

Bekimbetov, Shodiyor Iskandar ugli² - Doctoral student (PhD),

¹State Cadastre Chamber of the Cadastre Agency under the National Committee for Sustainable Development of Urbanization and Housing Market of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent city, Uzbekistan

²Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent city, Uzbekistan

Abstract. *This article analyzes the main external and internal factors affecting measurement processes in GPS navigation systems. Particular attention is paid to the sources of uncertainty that influence the accuracy and reliability of positioning results. The effects of the ionosphere and troposphere on signal propagation, satellite geometry parameters, multipath effects, receiver characteristics, and human-related factors are considered as the primary contributors to measurement uncertainty. For each factor, the level of uncertainty is identified and quantitatively evaluated. Mathematical formulas and tabulated data are used to estimate the combined measurement error. The results of the study allow for a comprehensive assessment of total measurement uncertainty and provide recommendations for improving the accuracy of GPS-based measurements. The findings are of practical importance for specialists in geodesy, navigation, and satellite technologies.*

Keywords: *geodesy, cartography, GPS, metrology, measurement uncertainty, basis, combined uncertainty, GLONASS, Galileo, BeiDou, topographic map, DGPS (Differential GPS), RTK (Real Time Kinematic), Multipath (multipath propagation), variance, standard deviation.*

Kirish

Global pozitsiyalash tizimi (GPS) zamonaviy geodeziya, kartografiya, navigatsiya va metrologiya sohalarida yuqori aniqlikdagi o'lchashlarni amalga oshirish imkonini beradi. Sun'iy yo'ldosh texnologiyalarining rivojlanishi natijasida koordinatalarni aniqlash aniqligi millimetr–santimetr darajasigacha oshdi. Shunga qaramay, GPS asosida bajariladigan har qanday o'lchashlar mutlaq aniq bo'la olmaydi va natijalarga turli tashqi hamda ichki omillar ta'sir ko'rsatadi. Ushbu omillar o'lchash natijalarida xatolik va noaniqliklarning paydo bo'lishiga olib keladi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi – GPS tizimida o'lchash natijalariga ta'sir etuvchi asosiy omillarni aniqlash, ularning noaniqlik komponentlarini miqdoriy baholash hamda ushbu omillarni ta'sir darajasi bo'yicha darajalashdan iborat. Tadqiqot natijalari GPS o'lchashlarining aniqligini oshirish, xatoliklarni kamaytirish va amaliy geodezik ishlar samaradorligini yaxshilashga xizmat qiladi.

Materiallar va usullar

GPS tizimining geodeziya va kartografiyada qo'llanishida quyidagi afzalliklarni ko'rsatib o'tish mumkin:

1. Yuqori aniqlik darajasi – zamonaviy geodezik GPS qabul qilgichlari millimetr darajasidagi aniqlikka erishish imkonini beradi. Bu klassik triangulyatsiya yoki taxometrik o'lchovlarga nisbatan bir necha marta yuqori samaradorlikni ta'minlaydi.

2. Vaqt va mehnat tejamkorligi – an'anaviy usullardagi so'rov va o'lchov ishlariga nisbatan GPS tizimi orqali ma'lumot yig'ish 3–5 baravar tezroq bajariladi.

3. Keng qamrovlilik – GPS tizimi jahon miqyosida ishlaydi va faqat mahalliy bazislarga bog'liq emas. Shuning uchun u qiyin relyefli hududlarda ham samarali foydalaniladi.

4. Avtomatlashtirilgan ma'lumot yig'ish – zamonaviy GPS qurilmalari ma'lumotlarni real vaqt rejimida (RTK yoki DGPS usullari) qayta ishlab, avtomatik ravishda geoaxborot tizimlariga uzatadi.

5. Ta'rif va kartografik yangilanishning tezligi – GPS ma'lumotlari yordamida topografik xaritalarni yangilash, chegaralarni aniqlash va raqamli kartalarni tuzish jarayoni ancha soddalashadi.

6. Integratsiya imkoniyati – GPS ma'lumotlari GLONASS, Galileo, BeiDou kabi boshqa global navigatsiya tizimlari bilan birlashtirilib, GNSS (Global Navigation Satellite System) formatida ishlatilishi mumkin.

Biroq har qanday o'lchashlarni bajarishda mutlaq haqiqiy qiymatni olish imkoniyati bo'lmaganidek, GPS o'lchashlarida ham mutlaq aniq natijani olib bo'lmaydi. GPS tizimlarini qo'llagan holda o'lchashlarni olib borishda o'lchash natijasiga turli salbiy omillar ta'sir qiladi, bu esa ma'lum obyekt pozitsiyasining o'lchamlari va koordinatalarini belgilash natijalariga xatolik ulushi sifatida noaniqliklarni keltirib chiqaradi. Ushbu maqolada geodeziya va kartografiya sohasidagi o'lchashlarni olib borishda GPS tizimlaridan foydalanish, ularning tuzilishi, o'lchash natijalariga ta'sir etuvchi omillar, ularning olingan natijadagi noaniqlik qiymati, ularni darajalash va kamaytirish masalasini ko'rib chiqamiz.

GPS o'lchash tizimining umumiy tuzilishi uch qismdan iborat:

1. Kosmik qism – Yer orbitasida harakatlanuvchi 24 ta asosiy sun'iy yo'ldosh (sun'iy yo'ldosh).

2. Nazorat qism – Yerdagi joylashgan stansiyalar tarmog'i.

3. Foydalanuvchi qismi – GPS qabul qilgich va uning dasturiy ta'minoti.

GPS tizimi o'lchashlaridagi asosiy prinsip quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$\rho_i = r_i + c \cdot (\delta t_r - \delta t_r) + I_i + T_i + \epsilon_i, \quad (1)$$

bu yerda: ρ_i – i -sun'iy yo'ldosh bo'yicha o'lchangan masofa; r_i – haqiqiy geometrik masofa; c – yorug'lik tezligi; δt_r , δt_r – qabul qilgich va sun'iy yo'ldosh soati xatolari; I_i , T_i – ionosfera va troposfera ta'siri; ϵ_i – boshqa turli xatoliklar yig'indisi.

GPS navigatorlari bilan bir qatorda GLONASS (Rossiya), Galileo (Yevropa Ittifoqi) va BeiDou (Xitoy) tizimlari ham faoliyat yuritadi. Bu tizimlar birgalikda GNSS (Global Navigation Satellite Systems) nomini oladi. GNSS tizimlaridan birgalikda foydalanish orqali obyekt manzili va masofalarini o'lchash xatoligi 1 metrdan ham kamroq bo'lishi mumkin.

1-jadval

O'lchashlarni bajarishda qo'llaniladigan tizimlar

№	Tizim nomi	Davlat	Sun'iy yo'ldoshlar soni	Aniqlik (m)	Diapazon
1	GPS	AQSH	31	3-7	L1, L2, L5
2	GLONASS	Rossiya	24	5-8	L1, L2
3	Galileo	Yevropa	30	1-3	E1, E5, E6
4	BeiDou	Xitoy	35	2-5	B1, B2, B3

DGPS (Differential GPS) texnologiyasi orqali xatolikni baza stansiyasidan keladigan tuzatmalar bilan 1 m gacha qisqartirish mumkin.

RTK (Real Time Kinematic) esa fazaviy signal tahlili asosida santimetr darajasidagi aniqlikni ta'minlaydi.

Natijalar

DGPS (korreksiya signallari orqali GPS pozitsiya aniqligini metrlar darajasidan santimetr darajasigacha yaxshilaydigan tizim) va RTK (signallarini real vaqtda differensial korreksiya qilish usuli) texnologiyalari korreksiya signallari orqali xatolikni kamaytiradi. DGPS usulida baza stansiya va harakatdagi qabul qilgich o'rtasidagi farq real vaqtda hisoblanib, pozitsiya aniqligi $\pm 0,5$ m darajasigacha oshiriladi. RTK usuli esa fazaviy signalni tahlil qilib, santimetr darajasidagi aniqlikni ta'minlaydi. O'lchashlarning haqiqiy qiymatiga yaqin qiymatini aniqlashda bir necha ta'sir etuvchi asosiy salbiy omillar mavjud. Quyida ushbu salbiy omillarning natijaviy noaniqlikka ta'sir etuvchi qiymatlarini aniqlashga harakat qilamiz.

Ionosfera ta'siri: Ionosfera – Yer atmosferasining yuqori qatlami bo'lib, undagi elektron zichlik GPS signallarining tezligiga ma'lum miqdorda o'z ta'sirini ko'rsatadi.

Bu holda signal kechikishi taxminan:

$$\Delta t_I = \frac{(40,3 \cdot TEC)}{f^2} \quad (2)$$

ko'rinishda bo'lib, bu yerda TEC – umumiy elektron zichlik (elektron/m²); f – signal chastotasi.

Ionosfera ta'siri natijasida gorizontal pozitsiyadagi noaniqlik **3–15 m** gacha yetishi mumkin.

Troposfera ta'siri: Troposferadagi namlik va bosim o'zgarishi radiosignallarning yo'lini uzaytiradi.

O'lchashlarni bajarish maqsadida yo'naltirilgan signallarni yuqoridagi ta'sir natijasidagi kechikishi quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta t_T = \frac{(k_1 \cdot P + k_2 \cdot e)}{T}, \quad (3)$$

bu yerda P – atmosfera bosimi; e – suv bug'i bosimi; T – absolyut harorat.

Troposferadagi o'zgarish ta'sir natijasida o'lchash noaniqligi 1–3 m ni tashkil qiladi.

Keyingi o'lchash natijasining salbiy ta'sir etuvchisi **multipat (ko'p yo'lli tarqalish) ta'siri** bo'lib uning ta'siri quyidagicha bo'lishi mumkin:

Buning uchun avvalo multipat ta'siri nima ekanligiga izoh berilsa maqsadga muvofiq bo'ladi.

Multipat (ko'p yo'lli tarqalish) – bu GPS sun'iy yo'ldoshidan chiqqan signalning qabul qilgich antennaga to'g'ridan-to'g'ri emas, balki atrofdagi binolar, yer yuzasi, suv, metall sirtlardan aks etib, bir necha yo'l orqali yetib kelishidir. Bularning natijasida qabul qilingan signalning fazasi yoki kelish vaqti o'zgaradi va bu pozitsiyada xatolik (δR) keltirib chiqaradi. Multipat ta'sirining geometrik modelini quyidagicha izohlash mumkin: Agar signal ikki yo'l orqali kelsa

a) to'g'ridan (to'g'ridan signal uzatish yo'li) kelganda,

b) aks etgan holda (GPS sun'iy yo'ldoshidan chiqqan signalning qabul qilgich antennaga to'g'ridan emas, balki aks etib (ya'ni devor, yer, suv, bino va h.k. orqali)) kelganda, aks etgan signalning uzunligi:

$$R_{MP} = R_{LOS} + \Delta R, \quad (4)$$

bu yerda: R_{LOS} – to'g'ridan kelgan signal masofasi; ΔR – aks etish orqali ortiqcha yo'l uzunligi.

Vaqt bo'yicha kechikish va xatolikni hisoblash quyidagicha bo'lishi mumkin: Signal tezligi

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

Multipat orqali kelgan signalda kechikish:

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{c}. \quad (5)$$

Qabul qilgichdagi bu kechikishni pozitsiya sifatida hisoblaganda, masofadagi xatolik:

$$\delta R = c \cdot \Delta t = \Delta R, \quad (6)$$

ya'ni aks etgan signal orqali masofa ΔR miqdorda "uzaygan" bo'ladi.

Faza aralashishi (interferensiya) ta'siri, agar qabul qilingan signal ikki manbadan (to'g'ridan va aks etgan) holda kelsa, unda natijaviy amplituda:

$$S(t) = A_1 \sin(\omega t) + A_2 \sin(\omega t + \phi). \quad (7)$$

Buni trigonometrik tenglamalar yordamida yozamiz:

$$S(t) = \sqrt{(A_1^2 + A_2^2 + 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cos(\phi))} \cdot \sin(\omega t + \tan^{-1}(\frac{A_2 \sin(\phi)}{A_1 + A_2 \cos(\phi)})), \quad (8)$$

bu yerda: $\phi = \frac{2\pi\Delta R}{\lambda}$ – fazaviy farq; λ – signal to'liq uzunligi (GPS L1 uchun ~19 sm).

Agar $\phi = 180^\circ$ bo'lsa – signallar bir-birini susaytiradi, agar $\phi = 0^\circ$ bo'lsa – signallar quvvatini oshiradi.

Multipat orqali pozitsiya xatoligini taxminiy baholash formulasi:

$$\delta R_{MP} = 2A_{MP} \sin\left(\frac{2\pi\Delta R}{\lambda}\right), \quad (9)$$

bu yerda: A_{MP} – aks etgan signalning nisbiy amplitudasi (0,1–0,5 orasida); ΔR – aks etgan yo'l farqi; $\lambda = 0,19$ m (GPS L1 to'liq uzunligi).

Yuqoridagilarni inobatga olgan holda hisoblash namunasini keltiramiz:

Berilsin:

$$A_{MP} = 0,3; \quad \Delta R = 0,5 \text{ m}; \quad \lambda = 0,19 \text{ m};$$

$$\delta R_{MP} = 2 \times 0,3 \times \sin\left(\frac{2\pi \times 0,5}{0,19}\right) = \frac{2\pi \times 0,5}{0,19} = 16,53 \text{ rad} = \sin(16,53) \approx -0,28$$

$$\Rightarrow \delta R_{MP} = 2 \times 0,3 \times (-0,28) = -0,17 \text{ m},$$

demak, multipat ta'siri natijasida pozitsiya xatoligi taxminan 17 sm bo'lishi mumkin.

Xulosa qilib aytiladigan bo'lsa:

- Multipat ta'siri – GPS signalining aks etib, turli yo'llar orqali kelishidan kelib chiqadigan xatolikdir.

- Uning ta'siri faza farqi (ϕ) va aks etgan yo'l uzunligi (ΔR) bilan bog'liq.
- Tipik xatolik: 0,1 m – 5 m, muhit sharoitiga bog'liq holda bo'ladi.

GPS tizimida qabul qilgich va antenna xatoliklari orqali natijaga salbiy ta'sir noaniqligi quyidagicha hisoblanadi:

A) Qabul qilgich xatoligi; Bu xatolik signalning kuchsizligi, ishlatilgan qabul qilgichning sezgirligi va ichki termoshovqin sababli yuzaga keladi.

Formula:

$$\sigma_r = \frac{c}{2\pi f \cdot SNR}, \quad (10)$$

bu yerda: σ_r – qabul qilgich xatoligi (m); $c = 3 \times 10^8$ m/s – yorug'lik tezligi; $f = 1,57542 \times 10^9$ Hz – L1 diapazon chastotasi; SNR – signal-shovqin nisbati.

Misol: Agar $SNR = 45$ dBHz bo'lsa:

$$\sigma_r = \frac{3 \times 10^8}{2\pi(1,57542 \times 10^9) \cdot 10^{(45-30)/10}} \approx 0,25 \text{ m}.$$

Qabul qilgich xatoligi taxminan 25 sm atrofida bo'ladi.

B) Antenna xatoligi: Antennaning signal uzatish faza markazi turli yo'nalishlarda ma'lum miqdorda siljishi sababli xatolik paydo bo'ladi. Ushbu xatolik quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\sigma_a = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)}, \quad (11)$$

bu yerda: $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – antenna faza markazining har bir koordinata bo'yicha o'zgarishi (m).

Misol:

Agar antenna faza markazi siljishi $\Delta x = 1,5$ mm, $\Delta y = 2,0$ mm, $\Delta z = 1,0$ mm bo'lsa:

$$\sigma_a = \sqrt{(0,0015)^2 + (0,002)^2 + (0,001)^2} = 0,0027 \text{ m}.$$

Antenna xatoligi taxminan 2,7 mm bo'ladi.

V) Yuqoridagi hisoblangan ikki xatolik qo'shilganda umumiy qabul qilgich va antenning ob'jekt pozitsiyasini o'lchashdagi noaniqlik ko'rsatkichi quyidagicha bo'ladi;

$$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_r^2 + \sigma_a^2)}, \quad (12)$$

$$\sigma_{total} = \sqrt{((0,25)^2 + (0,0027)^2)} \approx 0,250014 \text{ m.}$$

Demak, umumiy xatolik taxminan 0.25 metr, ya'ni noaniqlikning asosiy ulushi qabul qilgichdagi shovqin sababli kelib chiqadi.

GPS tizimida obyekt pozitsiyasi bo'yicha aniq o'lchashlarni bajarishdagi inson omilining ham o'z ta'siri mavjud. Oldindan kalibrovka qilinmagan, qiyoslashdan o'tkazilmagan asbob, noto'g'ri ko'rsatishi yoki xato kiritilgan koordinata modellari ham noaniqlik manbasi bo'lishi mumkin. Inson omili ulushini odatda ikki formatda ifodalash mumkin:

1. Inson omilining Varians bo'yicha xatolikdagi ulushi

$$["Share"]_{var} = \frac{\sigma_h^2}{\sum_i \sigma_i^2} \quad (13)$$

2. RMS/standart og'ish nisbati — insonning umumiy xatolik ulushiga nisbati:

$$["Share"]_{RMS} = \frac{\sigma_h}{\sigma_{total}} \quad (14)$$

Keltirilgan formulalarga qiymat kiritish orqali hisoblashlar bajarilganda inson omilining o'lchash noaniqligiga ta'siri 0,0548 m (yoki ≈ 5.48 sm) bo'lishi mumkinligini ko'ramiz.

Hisoblashlar natijasi bo'yicha inson omilining varians bo'yicha ulushi $\approx 0,062\%$, RMS/standart og'ish nisbati $\approx 2,5\%$ ekan.

Statistik jihatdan hisoblaganda (variats qarashidan) inson omili GPS tizimi orqali o'lchashlarni olib borishda umumiy xatolik variatsining juda kichik qismini tashkil etadi ($\sim 0.06\%$), lekin standart xatolik nuqtai nazaridan inson omilining hissasi taqriban 2–3% ga teng. Inson omilini kamaytirish uchun asosan quyidagi vaziyatlarni inobatga olish zarur: 1) Antenna markazini aniq belgilash uchun maxsus adapterlar va chek-listlar ishlatish; 2) Balandlikni ikki/uch marotaba tekshirish (lazer/ruletk); 3) Ma'lumotlarni avtomatlashtirilgan holda kiritish; 4) Operatorlarni malaka oshirish kurslarida maxsus tayyorlash.

Metrologiya nuqtai nazaridan GPS tizimida pozitsiyani o'lchash natijalarining noaniqliklari ikki turga bo'lish maqsadga muvofiq: A turdagi noaniqlik – statistik ma'lumotlar orqali; B turdagi noaniqlik – asbob pasporti va etalon ma'lumotlaridan.

Kengaytirilgan noaniqlik quyidagicha hisoblanadi:

$$U = k \cdot \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad (15)$$

bu yerda $k = 2$ (ishonch koeffitsiyenti).

Umumiy noaniqlikni hisoblash: agar har bir omil mustaqil deb qabul qilinsa, umumiy noaniqlik ularning kvadrat yig'indisi bo'yicha aniqlanadi:

$$\sigma_{um} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_T^2 + \sigma_M^2 + \sigma_G^2 + \sigma_R^2 + \sigma_H^2}. \quad (16)$$

Masalan,

$$\sigma_I = 5 \text{ m}, \sigma_T = 2 \text{ m}, \sigma_M = 4 \text{ m}, \sigma_G = 3 \text{ m}, \sigma_R = 1 \text{ m}, \sigma_H = 1 \text{ m}$$

bo'lsa,

$$\sigma_{um} = \sqrt{5^2 + 2^2 + 4^2 + 3^2 + 1^2 + 1^2} = \sqrt{56} \approx 7,48 \text{ m}$$

Demak, GPS tizimidagi o'lchashlarni olib borishda obyekt pozitsiyasini aniqlashda o'lchash natijasidagi umumiy noaniqlik miqdori taxminan $\pm 7,5$ metr ni tashkil etadi.

2-jadval

Har bir omil bo'yicha noaniqliklarning darajalanishi

№	Omil nomi	Ta'sir tabiati	Noaniqlik (m)	Daraja (1 dan–5 gacha)
1	Ionosfera ta'siri	Tabiiy muhit	3-15	5
2	Troposfera ta'siri	Tabiiy muhit	1-3	4

3	Multipat ta'siri	Refleksiya	0,5-10	5
4	Sun'iy yo'ldosh geometriyasi	Tizim konfiguratsiya	1-5	4
5	Qabul qilgich xatoligi	Qurilma	0,2-2	3
6	Inson omili	Tashqi	0,5-1,5	2

Yuqorida olingan natijalardan kelib chiqqan holda o'tkazilgan tajribalar va tahlilining natijalaridan quyidagi xulosalarni qilish mumkin:

3-jadval

O'tkazilgan tajribalar bo'yicha hisoblash natijalari

№	Muhit	Ionosfera ta'siri (m)	Multipat ta'siri (m)	Umumiy xatolik (m)
1	Ochiq maydon	2.5	0.5	3.0
2	Shahar markazi	5.0	3.5	6.1
3	Tog'li hudud	6.0	4.0	7.2

Natijalarning tahlilidan ko'rinib turibdiki, muhit sharoiti va relyef GPS aniqligiga juda katta ta'sir ko'rsatadi. DGPS yoki RTK qo'llanilganda, bu xatoliklar tegishliligi bo'yicha 0.8 metrgacha va 0.03 metrgacha kamayadi.

Muhokama

Ushbu tadqiqot natijalari GPS tizimida bajariladigan o'lchashlarning aniqligi va ishonchliligi ko'p sonli tashqi va ichki omillarning murakkab o'zaro ta'siriga bog'liqligini ko'rsatadi. Hisoblashlar va tahlillar shuni tasdiqlaydiki, GPS o'lchashlarida yuzaga keladigan umumiy noaniqlik faqat bitta omil bilan emas, balki ionosfera va troposfera sharoitlari, signal tarqalish muhiti, sun'iy yo'ldoshlar geometriyasi, qabul qilgich texnik xususiyatlari hamda inson omilining yig'ma ta'siri bilan belgilanadi.

Ionosfera ta'siri natijalari ilmiy adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlar bilan mos keladi. Elektron zichlikning sutkalik va fasliy o'zgarishi GPS signallarining kechikishiga olib kelib, ayniqsa bitta chastotali qabul qilgichlar uchun sezilarli xatolik manbai bo'lib qolmoqda. Tadqiqotda aniqlangan 3–15 m diapazondagi noaniqlik qiymatlari ionosferani modellash yoki dual chastotali kuzatuvlar orqali sezilarli darajada kamaytirilishi mumkinligini ko'rsatadi. Shu jihatdan, GNSS tizimlarida ionosfera ta'sirini kamaytirish bo'yicha qo'llanilayotgan zamonaviy modellarning ahamiyati yuqori ekanligi tasdiqlandi.

Troposfera ta'siri ionosferaga nisbatan kichikroq bo'lsa-da, u ham doimiy va tizimli xatolik manbai hisoblanadi. Ayniqsa, namlik yuqori bo'lgan hududlar va tog'li relyef sharoitlarida troposfera kechikishi o'lchash natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Tadqiqot natijalari troposfera ta'sirini real vaqt meteorologik ma'lumotlar asosida modellashdirish GPS o'lchash aniqligini oshirishda muhim omil ekanligini ko'rsatadi.

Multipat hodisasi esa amaliy geodezik ishlarda eng muammoli xatolik manbalaridan biri sifatida namoyon bo'ldi. Ayniqsa, shahar muhitida va yopiq hududlarda aks etgan signallar ulushi oshib, pozitsiya aniqligi keskin pasayadi. Tadqiqot davomida olingan 0.5–10 m oralig'idagi multipat xatoliklari binolar, metall konstruksiyalar va notekis relyef mavjud sharoitlarda GPS o'lchashlarini rejalashtirishda antenna joylashuviga alohida e'tibor qaratish zarurligini ko'rsatadi. Bu holat multipatga chidamli antenna turlaridan foydalanish va kuzatuv vaqtini optimal tanlash muhimligini ilmiy jihatdan asoslaydi.

Sun'iy yo'ldoshlar geometriyasi bilan bog'liq DOP ko'rsatkichlari GPS tizimining ichki konfiguratsiyasi bilan bevosita bog'liq bo'lib, o'lchash aniqligini sezilarli darajada belgilaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, GNSS tizimlaridan kompleks foydalanish (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) sun'iy yo'ldoshlar sonini oshirib, geometrik holatni yaxshilaydi va natijada umumiy

noaniqlikni kamaytiradi. Bu esa zamonaviy ko'p tizimli GNSS qabul qilgichlardan foydalanishning afzalligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Qabul qilgich va antenna bilan bog'liq xatoliklar nisbatan kichik qiymatlarga ega bo'lsa-da, ularning tizimli xarakterga ega ekanligi sababli yakuniy natijaga barqaror ta'sir ko'rsatadi. Antenna faza markazi siljishining millimetr darajasida bo'lishi yuqori aniqlik talab etiladigan RTK va geodezik tarmoqlarni yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli, yuqori aniqlikdagi ishlarda kalibrlangan antenna modellari va sertifikatlangan qabul qilgichlardan foydalanish zarurati ilmiy jihatdan asoslanadi. Inson omili statistik jihatdan umumiy variatsiyaning kichik qismini tashkil etsa-da, amaliy nuqtai nazardan u muhim xavf omili hisoblanadi.

Umuman olganda, muhokama qilingan natijalar GPS o'lchashlarida noaniqliklarni kamaytirish kompleks yondashuvni talab etishini ko'rsatadi. Alohida omillarni kamaytirish bilan cheklanib qolmasdan, texnik, tashkiliy va metodik choralarni birgalikda qo'llashgina yuqori aniqlikdagi va ishonchli GPS o'lchashlarni ta'minlashi mumkin.

Xulosa

Yuqoridagi hisoblash natijalari va ularning tahlillari shuni ko'rsatadiki, GPS navigatorlaridagi o'lchash aniqligi ko'pgina tashqi va ichki omillarga bog'liq. Eng katta noaniqlik manbai va uning ta'siri ionosfera va multipat omillaridan kelib chiqadi.

Umumiy tarzda xulosa qilib aytganda GPS tizimi orqali o'lchashlarni bajarishda o'lchash aniqligini oshirish va salbiy omillarni kamaytirish uchun quyidagilar tavsiya etiladi:

- Dual chastotali qabul qilgichlardan foydalanish (L1 va L2).
- DGPS va RTK texnologiyalarini joriy etish;
- Ochiq osmon sharoitida o'lchashlarni bajarish;
- Asboblarni tizimli ravishda qiyoslashdan o'tkazish;
- Atmosfera parametrlarini real vaqtda tuzatish;
- O'lchashlarni olib borishda ishtirok etuvchi mutaxassislarining malakasi yuqori darajada bo'lishini ta'minlash.

Adabiyotlar

- [1] ESA. (2023). *Ionospheric correction models in GNSS* (ESA Technical Report). European Space Agency.
- [2] Kaplan, E., & Hegarty, C. (2017). *Understanding GPS: Principles and applications*. Artech House.
- [3] Misra, P., & Enge, P. (2012). Global positioning system: Signals, measurements, and performance. *Proceedings of the IEEE*, 99(4), 529–553.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2150489>
- [4] O'z DSt 3444:2020. *Qiyoslash laboratoriyalarining malakaliligiga qo'yiladigan umumiy talablar*.
- [5] O'z DSt 8.020:2022. *O'lchash vositalari va ularni kalibrlash qoidalari*.
- [6] RTCM. (n.d.). *Differential GNSS services – Version 3 (RTCM 10403.3)*. RTCM.
<https://www.rtcn.org>
- [7] Umarov, Sh. X. (2021). *Geodeziyada GPS texnologiyalari*. Toshkent: TGAQI