

UO‘K 536.531:006.91

**TERMOREZISTIV DATCHIKLAR ASOSIDAGI AXBOROT OLISH
KANALIDA O‘LCHASH NOANIQLIGINI GUM USULIDA BAHOLASH**

Ruziyeva Gulchiroy Buxoro davlat universiteti

Annotatsiya. Tezisdagi quyosh kollektorini sinash tizimidagi Pt100 asosidagi harorat o‘lchash kanalining noaniqlik byudjeti GUM qo‘llanmasi bo‘yicha tuzilgan va Monte-Karlo usuli bilan tekshirilgan. Kalibrlanmagan A sinf datchikda yig‘indi dispersiyaning 90,5 % ini datchik ruqsati tashkil etishi aniqlangan. Individual kalibrlash kengaytirilgan noaniqlikni 0,33 K dan 0,12 K gacha kamaytirib, kollektor samaradorligi noaniqligini 3,6 % dan 2,2 % gacha pasaytirishi ko‘rsatilgan.

Kalit so‘zlar: o‘lchash noaniqligi, GUM, Monte-Karlo usuli, Pt100, noaniqlik byudjeti, kalibrlash, quyosh kollektori.

Kirish

Quyosh kollektorlarini sinashda samaradorlik natijasi harorat farqini o‘lchash noaniqligiga eng sezgir kattalik hisoblanadi [1, 2]. O‘lchash natijalarini xalqaro miqyosda taqqoslash uchun ularning noaniqligi GUM qo‘llanmasi qoidalari bo‘yicha ifodalanishi talab etiladi [3]. Chiziqli bo‘lmagan yoki ustun noto‘g‘ri taqsimotli tashkil etuvchiga ega modellar uchun GUM natijasini Monte-Karlo usuli bilan tekshirish tavsiya etilgan [4].

Platinali termorezistorlar keng harorat oralig‘ida yuqori barqarorlik va takrorlanuvchanlik tufayli quyosh qurilmalarini sinashda asosiy harorat datchiklari hisoblanadi [5, 8, 9]. Ularning qarshilik-harorat bog‘lanishi Kallendar taklif etgan va Van Dyuzen tomonidan kengaytirilgan tenglama bilan tavsiflanadi [6, 7]. Biroq amaliy axborot olish kanalining noaniqligi faqat datchik bilan emas, balki tayanch rezistor, ulash simlari, o‘z-o‘zini qizdirish va ATsO‘ bilan ham belgilanadi [8, 10].

Arzon monitoring tizimlarida ko‘pincha datchikning pasportdagi aniqlik sinfi kanal noaniqligi sifatida qabul qilinadi va qolgan tashkil etuvchilar hisobga olinmaydi [13]. Tезisning maqsadi Pt100 asosidagi axborot olish kanalining to‘liq noaniqlik byudjetini tuzish, ustun tashkil etuvchilarni aniqlash va natijani Monte-Karlo usuli bilan tekshirishdan iborat [3, 4].

Usullar

Kanalning o‘lchash modeli tayanch rezistorga nisbatan ratiometrik o‘lchash va Kallendar–Van Dyuzen tenglamasining teskari yechimiga asoslanadi [5, 10]:

$$R_t = R_{ref} \frac{D}{2^N G_{PGA}}, \quad t = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B(1 - R_t/R_0)}}{2B}, \quad (1)$$

bu yerda R_t – datchikning o‘lchangan qarshiligi, Ω ; R_{ref} – tayanch rezistor qarshiligi, Ω ; D – ATsO‘ chiqish kodi; $N = 16$ – ATsO‘ razryadlar soni; $G_{PGA} = 16$ – kuchaytirish ko‘effitsiyenti; t – hisoblangan harorat, $^{\circ}\text{C}$; $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ va $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-2}$ – Kallendar–Van Dyuzen ko‘effitsiyentlari; $R_0 = 100 \text{ } \Omega$ – datchikning $0 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ dagi nominal qarshiligi [5, 7].

Qarshilik birliklaridagi tashkil etuvchilarni harorat birligiga keltiruvchi sezgirlik ko‘effitsiyenti quyidagicha aniqlanadi [3, 8]:

$$c_R = \frac{\partial t}{\partial R_t} = \frac{1}{R_0(A + 2Bt)}, \quad (2)$$

bu yerda c_R – qarshilik bo'yicha sezgirlik koeffitsiyenti, K/Ω ; $\partial t / \partial R_t$ – haroratning qarshilik bo'yicha xususiy hosilasi; t – ishchi harorat, °C [3, 5].

B turdagi tashkil etuvchilar chegaraviy qiymatlardan to'g'ri burchakli taqsimot asosida, yig'indi va kengaytirilgan noaniqlik esa quyidagicha topiladi [3]:

$$u_j = \frac{a_j}{\sqrt{3}}, \quad u_c(t) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_j u_j)^2}, \quad U = k u_c(t), \quad (3)$$

bu yerda u_j – j-tashkil etuvchining standart noaniqligi; a_j – j-tashkil etuvchining chegaraviy (yarim kenglik) qiymati; c_j – j-tashkil etuvchining sezgirlik koeffitsiyenti; n – tashkil etuvchilar soni; $u_c(t)$ – haroratning yig'indi standart noaniqligi, K; U – kengaytirilgan noaniqlik, K; k – qamrov koeffitsiyenti [3, 12].

A turdagi noaniqlik takroriy o'lchovlarning o'rtacha qiymati uchun quyidagicha baholanadi [3, 12]:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n_r}}, \quad (4)$$

bu yerda u_A – A turdagi standart noaniqlik, K; $s = 0,10 K$ – bitta o'lchovning tajribaviy standart og'ishi; $n_r = 10$ – o'rtachalangan o'lchovlar soni [3].

Qamrov koeffitsiyentini asoslash uchun samarali erkinlik darajalari soni Uelch–Sattertueyt formulasi bo'yicha topildi [3]:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(t)}{\sum_{j=1}^n \frac{(c_j u_j)^4}{v_j}}, \quad (5)$$

bu yerda v_{eff} – samarali erkinlik darajalari soni; v_j – j-tashkil etuvchining erkinlik darajalari soni (A tur uchun $v_j = n_r - 1 = 9$, B tur uchun $v_j \rightarrow \infty$) [3].

Kollektor kirish va chiqishidagi ikki datchik xatolari o'zaro korrelyatsiyalangan bo'lishi mumkinligi sababli harorat farqining noaniqligi quyidagicha hisoblandi [3, 8]:

$$u^2(\Delta T) = u_c^2(T_{\text{out}}) + u_c^2(T_{\text{in}}) - 2r u_c(T_{\text{out}}) u_c(T_{\text{in}}), \quad (6)$$

bu yerda $u(\Delta T)$ – harorat farqining standart noaniqligi, K; $u_c(T_{\text{out}})$ va $u_c(T_{\text{in}})$ – chiqish va kirish haroratlarining yig'indi standart noaniqliklari, K; r – ikki datchik xatolari orasidagi korrelyatsiya koeffitsiyenti [3].

Monte-Karlo usulida har bir kirish kattaligi o'z taqsimotidan $M = 10^6$ marta tanlab olindi va natijaning taqsimoti tuzildi [4]:

$$e^{(m)} = \sum_{j=1}^n c_j \xi_j^{(m)}, \quad m = 1, \dots, M, \quad (7)$$

bu yerda $e^{(m)}$ – m-sinovdagi harorat xatosi, K ; $\xi_j^{(m)}$ – j-kirish kattaligining m-tasodifiy qiymati; M – Monte-Karlo sinovlari soni [4].

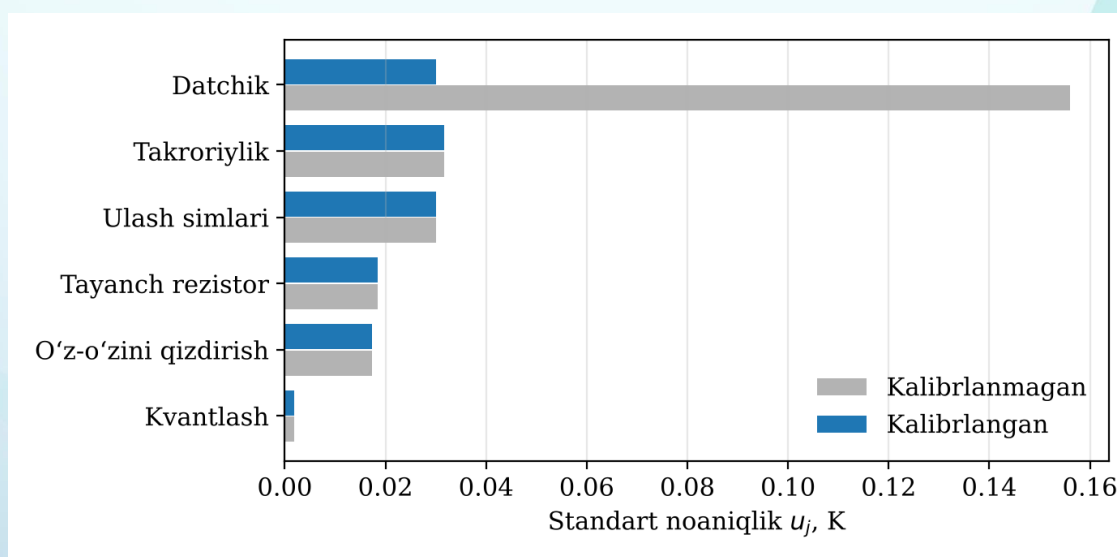
Natijalar

Byudjet 60 °C ishchi haroratda tuzildi, bu haroratda (2) formula bo'yicha datchik sezgirligi 0,384 Ω/K ni, c_R esa 2,60 K/Ω ni tashkil etadi [5, 8]. A sinf ruxsati $\pm(0,15 + 0,002|t|)$ °C dan kelib chiqib, datchik tashkil etuvchisi 0,156 K ga teng bo'ldi [3, 5]. Kanalning noaniqlik byudjeti 1-jadvalda keltirilgan [3].

1-jadval. Pt100 kanalining 60 °C dagi noaniqlik byudjeti

Tashkil etuvchi	Chegara yoki manba	u_j, K (kalibrlanmagan)	u_j, K (kalibrlangan)
Datchik (A sinf / kalibrlash)	$\pm 0,27 \text{ } ^\circ\text{C} / 0,03 \text{ K}$	0,156	0,030
Takroriylik, A tur	$s = 0,10 \text{ K},$ $n_r = 10$	0,032	0,032
Ulash simlari qoldig'i	$\pm 0,02 \text{ } \Omega$	0,030	0,030
Tayanch rezistor	$\pm 0,01 \text{ } \%$	0,019	0,019
O'z-o'zini qizdirish	$\pm 0,03 \text{ K}$	0,017	0,017
Kvantlash (16 bit, $G_{PGA} = 16$)	$q/\sqrt{12}$	0,002	0,002
Yig'indi u_c		0,164	0,059
Kengaytirilgan U ($k = 2$)		0,33	0,12

Kalibrlanmagan kanalda datchik ruxsati yig'indi dispersiyaning 90,5 % ini tashkil etadi, qolgan barcha tashkil etuvchilarning ulushi esa 10 % dan kam [3, 5]. Datchikni individual kalibrlash kengaytirilgan noaniqlikni 0,33 K dan 0,12 K gacha, ya'ni 2,8 marta kamaytiradi [8]. Kalibrlangan kanalda takroriylik (29 %), ulash simlari (26 %) va kalibrlash (26 %) deyarli teng ulushga ega bo'lib qoladi [3, 10]. Tashkil etuvchilarning nisbiy hissasi 1-rasmda ko'rsatilgan [3].



1-rasm. Kalibrlanmagan va kalibrlangan kanalda noaniqlik tashkil etuvchilari

(5) formula bo'yicha samarali erkinlik darajalari soni kalibrlanmagan kanal uchun taxminan 6500, kalibrlangan kanal uchun esa 108 ni tashkil etdi [3]. Har ikki holatda ham $v_{eff} > 50$ bo'lgani uchun $k = 2$ qamrov koeffitsiyentidan foydalanish asosli hisoblanadi [3, 12].

Monte-Karlo usuli GUM natijalarini tekshirish uchun qo'llanildi va natijalar 2-jadvalda solishtirildi [4].

2-jadval. GUM va Monte-Karlo usuli natijalarini solishtirish (60 °C)

Kanal holati	u_c (GUM), K	u (MK), K	U (GUM, $k = 2$), K	95 % interval yarim kengligi (MK), K
Kalibrlanmagan	0,164	0,164	0,33	0,285
Kalibrlangan	0,059	0,059	0,12	0,115

Standart noaniqliklar ikkala usulda to'liq mos keldi, bu chiziqli modelda noaniqlikni tarqatish qonunining to'g'riligini tasdiqlaydi [3, 4]. Biroq kalibrlanmagan kanalda Monte-Karlo usulining 95 % intervali GUM bahosidan 14 % tor bo'ldi [4]. Buning sababi shundaki, ustun tashkil etuvchi to'g'ri burchakli taqsimotga ega bo'lib, natija taqsimoti normal taqsimotdan farq qiladi va haqiqiy qamrov koeffitsiyenti 2 emas, balki taxminan 1,74 ga teng bo'ladi [3, 4]. Kalibrlangan kanalda ustun tashkil etuvchi yo'q bo'lgani uchun ikki usul natijalari amalda bir xil chiqdi [4, 12].

(6) formula bo'yicha kalibrlangan datchiklar uchun harorat farqining standart noaniqligi korrelyatsiya koeffitsiyenti $r = 0, 0,5$ va $0,9$ bo'lganda mos ravishda 0,083, 0,059 va 0,026 K ni tashkil etdi [3]. Demak, bir partiyadan olingan va birgalikda kalibrlangan juft datchiklardan foydalanish harorat farqi noaniqligini sezilarli kamaytiradi [8].

Kanalni yanada takomillashtirish imkoniyatlari ham baholandi [3, 10]. To'rt simli ulanishga o'tish ulash simlari tashkil etuvchisini yo'qotib, kengaytirilgan noaniqlikni 0,10 K gacha kamaytiradi [8, 10]. Bunga qo'shimcha ravishda o'rtachalanayotgan o'lchovlar sonini 40 taga yetkazish U ni 0,085 K gacha pasaytiradi [3, 12].

Harorat farqi 7,5 K, sarf noaniqligi 1 %, nurlanish noaniqligi 1,5 % va apertura yuzasi noaniqligi 0,5 % bo'lganda kollektor samaradorligining nisbiy standart noaniqligi kalibrlanmagan kanalda 3,6 %, kalibrlangan kanalda esa 2,2 % ni tashkil etdi [1, 3].

Muhokama

Olingan natijalar Pt100 kanalida noaniqlikning asosiy manbai ATsO' emas, balki datchikning sinf ruxsati ekanini ko'rsatadi [5, 11]. Shu sababli kanal aniqligini oshirishda ATsO' razryadligini oshirishdan ko'ra datchikni individual kalibrlash ancha samarali chora hisoblanadi [8]. Bu xulosa arzon harorat o'lchash tizimlarini ishlab chiqishda ham muhim, chunki ularda asosiy e'tibor odatda elektron qismga qaratiladi [13].

GUM va Monte-Karlo natijalarining farqi ustun to'g'ri burchakli tashkil etuvchi mavjud bo'lganda $k = 2$ qabul qilish noaniqlikni ortiqcha baholashga olib kelishini ko'rsatadi [3, 4]. Bunday holatda JCGM 101 qo'llanmasida tavsiya etilganidek, Monte-Karlo usuli bilan olingan qamrov intervalidan foydalanish maqsadga muvofiq [4]. Termistorlar kabi kuchli chiziqli bo'lmagan datchiklar uchun Monte-Karlo usulining ahamiyati yanada ortadi, chunki ularning tavsifi logarifmik bog'lanishga ega [15].

Kollektor samaradorligi bo'yicha natijalar harorat kanallari kalibrlangandan keyin nurlanish o'lchovi ustun tashkil etuvchiga aylanishini ko'rsatadi [1, 14]. Bu holat sinov stendlarini loyihalashda harorat va nurlanish kanallarining aniqligini muvozanatli tanlash zarurligini anglatadi [1, 2].

Xulosa

1. Pt100 asosidagi axborot olish kanalining olti tashkil etuvchili noaniqlik byudjeti tuzildi va 60 °C da kengaytirilgan noaniqlik kalibrlanmagan kanal uchun 0,33 K, kalibrlangan kanal uchun 0,12 K ekanini aniqlandi [3, 5].
2. Kalibrlanmagan kanalda datchik ruxsati yig'indi dispersiyaning 90,5 % ini tashkil etadi, 16 razryadli ATsO'ning hissasi esa 0,1 % dan kam [3, 11].
3. Monte-Karlo usuli ustun to'g'ri burchakli tashkil etuvchi mavjud bo'lganda GUM bo'yicha $k = 2$ bilan olingan kengaytirilgan noaniqlik 14 % ortiqcha ekanini ko'rsatdi [4].
4. Juft kalibrlangan datchiklar, to'rt simli ulanish va o'rtachalash kollektor samaradorligi noaniqligini kamaytirishning asosiy yo'llari hisoblanadi [1, 8, 10].

Adabiyotlar

5. ISO 9806:2017. Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods. – Geneva: ISO, 2017.
6. Kalogirou S.A. Solar thermal collectors and applications // Progress in Energy and Combustion Science. – 2004. – Vol. 30, No. 3. – P. 231–295. DOI: 10.1016/j.pecs.2004.02.001.
7. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). – Sèvres: BIPM, 2008.
8. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the GUM – Propagation of distributions using a Monte Carlo method. – Sèvres: BIPM, 2008.
9. IEC 60751:2022. Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors. – Geneva: IEC, 2022.
10. Callendar H.L. On the practical measurement of temperature // Philosophical Transactions of the Royal Society of London A. – 1887. – Vol. 178. – P. 161–230.
11. Van Dusen M.S. Platinum-resistance thermometry at low temperatures // Journal of the American Chemical Society. – 1925. – Vol. 47, No. 2. – P. 326–332.
12. Nicholas J.V., White D.R. Traceable Temperatures: An Introduction to Temperature Measurement and Calibration. – 2nd ed. – Chichester: Wiley, 2001. – 446 p.
13. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. – 5th ed. – Cham: Springer, 2016. – 758 p.
14. Pallàs-Areny R., Webster J.G. Sensors and Signal Conditioning. – 2nd ed. – New York: Wiley, 2001. – 587 p.
15. Walden R.H. Analog-to-digital converter survey and analysis // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1999. – Vol. 17, No. 4. – P. 539–550. DOI: 10.1109/49.761034.
16. Taylor J.R. An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements. – 2nd ed. – Sausalito: University Science Books, 1997. – 327 p.

17. Bohórquez M.A.M., Enrique Gómez J.M., Andújar Márquez J.M. A new and inexpensive temperature-measuring system: Application to photovoltaic solar facilities // Solar Energy. – 2009. – Vol. 83, No. 6. – P. 883–890. DOI: 10.1016/j.solener.2008.12.007.
18. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2013. – 910 p.
19. Steinhart J.S., Hart S.R. Calibration curves for thermistors // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. – 1968. – Vol. 15, No. 4. – P. 497–503. DOI: 10.1016/0011-7471(68)90057-0.