

APRIL 27-28, 2023

IoT TEXNOLOGIYASIGA ASOSLANGAN SUV SARFINI O‘LCHASH  
QURILMALARIDA TRANZIT VAQTINI ANIQLASHNING MATEMATIK TAHLILI

Azimov Bunyod<sup>1</sup>, Qo‘chqorov Muslim<sup>2</sup>, Ma‘mirov Xudoyberdi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TATU Sun‘iy intellekt kafedrasida dotsenti

<sup>2</sup> TATU Sun‘iy intellekt kafedrasida

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7901096>

**Abstract.** In this paper, the mathematical analysis of determining the transit time in ultrasonic water consumption measuring devices based on IoT technology is considered. It presents a mathematical description of the calculation of the consumption time (time-of-flight TOF, as well as the transit time) of the flow measurement using ultrasound, and some problems in the calculation of the consumption time are highlighted. A correlation-based algorithm for high-precision calculation has been developed and is being put into practice.

**Keywords:** Consumption time, doppler effect, ultrasonic flow meter, transit time, transducer, flow error, acoustic path length, signal.

Zamonaviy sanoat ishlab chiqarish sohasida oqimni aniq va ishonchli o‘lchash zarurati ortib bormoqda. Suyuqliklar va gazlar ishlab chiqariladigan yoki tashiladigan jarayonlarda to‘g‘ri o‘lchovni ta‘minlash juda muhimdir. Ultrasonik oqim o‘lchagichlardan (UOO‘) foydalanish sanoat, energetika va tibbiyot sohalarida tez sur‘atlar bilan kengayib bormoqda, chunki UOO‘ an‘anaviy hisoblagichlardan farqli o‘laroq taqdim etadigan muhim operatsion va iqtisodiy afzalliklarga ega. Ultratovush yordamida oqimni o‘lchashning ko‘plab usullari ishlab chiqilgan, masalan, sarf vaqti (time-of-flight TOF, shuningdek, tranzit vaqti deb ataladi), doppler effekti yoki vorteks va sirt to‘lqinlarining modulyatsiyasidir. TOF UOO‘ gidravlik metrologiya olamida katta ahamiyat kasb etmoqda, chunki ular oqimni intruziv bo‘lmagan o‘lchash imkonini beradi (past bosimning pasayishiga olib keladi), juda kam texnik xizmat ko‘rsatishni talab qiladi (harakatlanuvchi qismlarning yo‘qligi sababli), shu bilan birga keng miqyosda yuqori o‘lchash aniqligini ta‘minlaydi. Ushbu afzalliklar tufayli, TOF UOO‘ bugungi kunda ultratovush oqimini o‘lchashning eng mashhur texnologiyasiga aylandi [1, 2]. TOF UOO‘ ning ishlashi yaxshi tasdiqlangan printsipga asoslanadi: ultratovush impulsi oqayotgan muhit bo‘ylab tarqalganda, uning tarqalish vaqti muhitning oqim tezligiga qarab o‘zgaradi. Ikkita teng o‘zgartirgich  $a$  va  $b$  diametri  $D$  trubaning har ikki tomonida joylashgan bo‘lib, ular orasidagi masofa trubka o‘qi bo‘ylab  $L$  masofada joylashgan va shu bilan oqim yo‘nalishi bilan  $\alpha = \arctan(D/L)$  burchak hosil qiladi (1-rasm). 1). Ushbu konfiguratsiya doirasida quyi oqim signali  $t_{ab}$  va yuqori oqim signali  $t_{ba}$  ning TOF qiymatini quyidagicha ifodalash mumkin [3]

$$t_{ab} = \int_0^H \frac{dh}{c+v(h)\cos\alpha} \quad (1)$$

va

$$t_{ba} = \int_0^H \frac{dh}{c-v(h)\cos\alpha} \quad (2)$$

mos ravishda  $H$  akustik yo‘l uzunligi,  $c$  ultratovush to‘lqinining tezligi va  $v(h)$  akustik yo‘l bo‘ylab  $h$  nuqtasida o‘lchangan aksel oqim tezligi. (1) va (2) ni integrallash va  $v(h)$  ni  $z$

APRIL 27-28, 2023

(quvur o‘qi yo‘nalishi) ga bog‘liq emas deb faraz qilsak, TOF va geometrik parametrlar bo‘yicha o‘rtacha oqim tezligining ifodasini olish mumkin.

$$\langle v \rangle = \frac{D}{\sin(2\alpha)} \frac{\Delta t}{\pi t}, \quad (3)$$

Bu erda  $\Delta t = t_{ba} - t_{ab}$  yuqori va quyi oqim yo‘llari orasidagi TOF farqi va  $\pi t = t_{ba}t_{ab}$  - TOFlar orasidagi mahsulot. Agar tovush tezligi  $c$  oldindan ma‘lum bo‘lsa, o‘rtacha oqim tezligini  $\langle v \rangle = \frac{c^2 \Delta t}{2L}$  bo‘yicha TOF farqi yordamida hisoblash mumkin. Biroq, tovush tezligini aniq o‘lchash juda qiyin vazifadir, chunki unga harorat, kimyoviy tarkib, aralashmalar mavjudligi va boshqalar ta‘sir qilishi mumkin. Ushbu yondashuvning alternativ strategiyasi ham yuqori, ham quyi oqim signallarining TOF ni o‘lchashdir. Oqim tezligini to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘rtacha oqim tezligi va quvur uchastkasi maydonining mahsuloti sifatida hisoblanadi

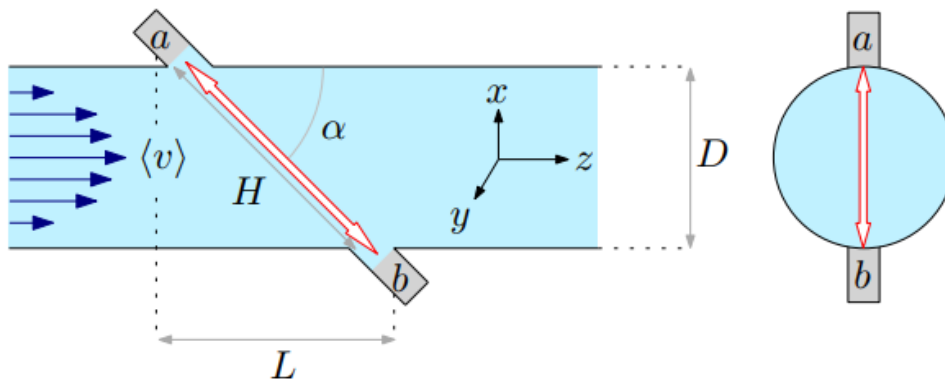
$$Q = \frac{\pi D^3}{4 \sin(2\alpha)} \frac{\Delta t}{\pi t} \quad (4)$$

Ovoz tezligining aniq qiymati (5) tomonidan olinishi mumkin

$$c = \frac{2D}{\sin \alpha} \frac{1}{\sum t} \quad (5)$$

bu erda  $\sum t$  yuqori va quyi oqim TOFlarining yig‘indisidir.

Shuni ta‘kidlash mumkinki, oqimni o‘lchash operatsiyasining ushbu printsipi ikki tomonlama oqim o‘lchash imkonini beradi. Amalda, oqim tezligi profili barcha nuqталarda bir xil emas.



*1-rasm. Sarf vaqtini o‘lchashning sxematik rasm.*

Bu yerda  $H$  ikkita  $a$  va  $b$  o‘tkazgichlar orasidagi akustik yo‘li, va o‘rtacha tezlik ( $v$ ) bilan  $\alpha$  burchagini hosil qiladi. Transducerlar diametri  $D$  bo‘lgan quvur bo‘ylab  $L$  masofada ajratilgan. Ba‘zi UOO‘ modellari akustik yo‘llarni trubaning kesishgan qismida markazdan tashqarida o‘rnatadigan bir nechta Transducerlardan foydalanadi. Bundan tashqari, Transducerlarning aniq joylashishini aniq aniqlash qiyin vazifadir. Ushbu nosozliklar  $K$  kalibrlash koeffitsientini kiritish orqali yutilishi mumkin, bu esa barqaror yoki barqaror bo‘lishi mumkin bo‘lgan laminar hisoblanadi, o‘tish yoki truba profillar uchun o‘tkazgichni joylashtirish va quvur kesimidagi o‘rtacha oqim tezligining kombinatsiyalangan ta‘sirini ta‘minlash uchun tegishli sozlashni talab qiladi. Buning yordamida haqiqiy oqim tezligi o‘lchanadi.

APRIL 27-28, 2023

$$Q = K \frac{\pi D^3}{4 \sin(2\alpha)} \frac{\Delta t}{\Pi t} \quad (6)$$

O‘zaro ishlashda qabul qiluvchi transducerlarda o‘lchangan elektr signallari teng bo‘ladi va TOF farqini ular ustida korrelyatsiya qilish orqali hisoblash mumkin. Biroq, o‘zaro ishlashga erishish mumkin bo‘lmaganda, har ikki tomondan turli xil kattalikdagi, konvertdagi va hatto chastotali signal to‘lqin shakllari qabul qilinadi, bu esa "nol oqim xatosi" deb nomlanuvchi xatolikka sabab bo‘ladi. Yuqori va quyi oqim signallari o‘rtasidagi fazalar farqi sifatida TOF farqini o‘lchash orqali o‘zaro bo‘lmagan ultratovushli oqim o‘lchagichlar uchun nol oqim xatosini kamaytirish uchun majburiy tebranishlardan foydalangan. Shunga qaramay, tavsiya etilgan usulda signallar oldindan hisoblangan mos yozuvlar signali bilan o‘zaro bog‘liqdir.

Yo‘naltiruvchi signalning parametrlari sozlanishi mumkin, shuning uchun nafaqat TOF farqi o‘lchanadi, balki bazi sharoitlarda TOFning to‘liq qiymati ham olinadi. Agar TOF ning yuqori va quyi oqim qiymatlari ma'lum bo‘lsa, oqim tezligining aniq qiymatini (6) yordamida hisoblash mumkin. (6) dan ko‘rinib turibdiki, TOFni aniq o‘lchash UOO‘ aniqligi uchun juda muhimdir. Shunday qilib, TOFni o‘lchash uchun ko‘plab texnologiyalar ishlab chiqilgan, ular orasida nolga o‘tish texnikasi va o‘zaro bog‘liqlik usuli [2] adabiyotlarda keltirilgan. Noldan o‘tish texnikasiga asoslanib, Vaqtni Raqamli Konverterdan (VRK) foydalanadigan joriy usullar bir necha o‘ndan bir pikosekundlik aniqlikni ta‘minlashi mumkin. Noldan o‘tish texnikasi o‘zaro bog‘liqlik usuliga nisbatan past hisoblash narxiga ega. Biroq, akustik yo‘l bo‘ylab ultratovush signalining yuqori darajada zaiflashishi tufayli signal-shovqin nisbati (SSN) past va noldan o‘tish texnikasi barcha sharoitlarda yaxshi ishlamasligi mumkin. Bundan tashqari, o‘zgaruvchan noldan o‘tish nuqtasini siljitishi qabul qilib bo‘lmaydigan xatolarga olib kelishi mumkin. Qabul qilingan ultratovush signali shovqin bilan jiddiy buzilganda yoki soxta signallar bilan aralashganda, noldan o‘tish texnikasi noto‘g‘ri natijalarga olib kelishi mumkin. Bu, shuningdek, ko‘plab sanoat inshootlari yoki qiyin suyuqliklar, masalan, haddan tashqari harorat yoki juda ifloslangan suyuqliklar va gazlar (kanalizatsiya kabi) bo‘lgan muhitda ham sodir bo‘ladi. Bunday hollarda o‘zaro bog‘liqlik usuli ayniqsa foydali bo‘ladi. O‘zaro korrelyatsiya usuli yuqori hisoblash xarajatlarini talab qilsada, u shovqinning buzilishini bostirish bilan birga juda mustahkam sxema bo‘lish afzalligiga ega. TOFni hisoblash uchun qabul qilingan signalni mos yozuvlar signali bilan korrelyatsiya qilish kerak. TOF o‘zaro bog‘liqlik funksiyasining maksimal pozitsiyasi bilan aniqlanadi. Shuning uchun TOFni o‘lchashda mos yozuvlar signali asosiy rol o‘ynaydi. Ajablanarlisi shundaki, bir nechta adabiyotlar mos yozuvlar signalini qanday tanlashni muhokama qilishda qatnashgan. Umumiy yechim qabul qilingan signalni statik holatda mos yozuvlar to‘lqini sifatida qabul qilishdir. Biroq, yuqori va quyi oqimdagi qabul qilingan signallar o‘rtasidagi mumkin bo‘lgan farqlar xatolarga olib kelishi mumkin. Muqobil “echo” usuli Brassier va boshqalar tomonidan taqdim etilgan. Shunga qaramay, u aks-sadoni ushlashga asoslangan va signal juda zaif. Bir nechta ultratovush to‘lqinlarini o‘rtacha hisoblashga asoslangan "o‘rtacha" usul taklif qilindi, bu cheklovlarni yengib o‘tadi. Biroq, bir muncha vaqt ishlagandan so‘ng, optimal aniqlikni ta‘minlash uchun oqim o‘lchagichni qayta kalibrlash va mos yozuvlar to‘lqinini yangilash kerak bo‘lishi mumkin. Shu sababli ishlarimizda TOFni yuqori aniqlik bilan hisoblash uchun o‘zaro bog‘liqlikka asoslangan algoritim ishlab chiqilib sinovdan o‘tkazilmoqda. Bu asosida yo‘naltiruvchi signalni aniqlash uchun yangi yondashuv taklif etiladi. Ushbu protseduraning natijasi "o‘rtacha" usuli yordamida olingan natija bilan taqqoslanadi.

Tavsiya etilgan usul yordamida hajmli oqim tezligini aniqlash sinovdan o‘tkaziladi va eksperimental natijalar tahlil qilinadi va muhokama qilinadi.

#### REFERENCES

1. M. Bezdek, H. Landes, A. Rieder and R. Lerch, “A coupled finite-element, boundary-integral method for simulating ultrasonic flowmeters,” *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control*, vol. 15, pp. 10705–10722, 2015.
2. W. Zhu, K. Xu, M. Fang, Z. Shen, and L. Tian, “Variable ratio threshold and zero-crossing detection based signal processing method for ultrasonic gas flow meter,” *Measurement*, vol. 103, pp. 343–352, 2017.
3. E. Mandard, D. Kouame, R. Battault, J. P. Remenieras, ‘ and F. Patat, “Methodology for developing a highprecision ultrasound flow meter and fluid velocity profile reconstruction,” *IEEE Trans. on Ultrason., Ferroelectr., Freq. Control*, vol. 55, pp. 161–172, 2008.