AERODINAMIK TRUBADA O‘LCHASH: KALIBRLASH USULLARI VA TAQQOSLASH

Abdullayev Alisher Amonovich
“O‘zbekistonmilliy metrologiya instituti” davlat muassasasi
Samarqand filiali mutaxasisi

Received: 12.08.2025
Revised: 13.08.2025
Accepted: 14.08.2025
Key words:
Aerodinamik truba, Oqim o‘lchash, Kalibrlash, Havo oqimi, Aniqlik.

Abstract.
Ushbu maqolada aerodinamik trubalarda o‘lchashning asosiy usullari, ularni kalibrlash texnikasi va turli metodlarning solishtirilishi ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot davomida statik, dinamik va elektron kalibrlash usullari tahlil qilingan, ularning aniqligi, qulayligi va samaradorligi baholangan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, turli kalibrlash metodlarini uyg‘unlashtirish o‘lchash natijalarining ishonchliligi va aniqligini oshiradi. Maqola sanoat va ilmiy tadqiqotlarda aerodinamik trubalar bilan ishlash jarayonlarini optimallashtirishga qaratilgan.

Kirish. Aerodinamik trubalar havo va gaz oqimini o‘lchashda muhim vosita hisoblanadi. Sanoat, energetika, aerokosmik va ilmiy tadqiqotlar sohalarida oqim parametrlari, jumladan tezlik, bosim va hajm oqimi aniqligi yuqori talab qilinadi. Trubalar yordamida o‘lchash oqimni to‘g‘ridan-to‘g‘ri nazorat qilish, tizim samaradorligini baholash va xavfsizlikni ta’minlash imkonini beradi.

Trubalardan foydalanishda asosiy muammo o‘lchash natijalarining aniqligi va ishonchliligidir. Oqim sharoiti, truba materiali, shakli va o‘lchov sensorlarining sezgirligi natijaga bevosita ta’sir qiladi. Shu sababli, aerodinamik trubalar kalibrlash jarayoni orqali to‘g‘ri sozlanishi kerak. Kalibrlash trubaning o‘lchov xatolarini kamaytirish, turli sharoitlarda natijalarni solishtirish va standarlarga moslash uchun muhim ahamiyatga ega. Hozirgi kunda kalibrlashning bir necha usullari mavjud: statik, dinamik va elektron kalibrlash. Statik kalibrlash laboratoriya sharoitida o‘lchash qurilmalari yordamida amalga oshiriladi va osonlik bilan takrorlanadi. Dinamik kalibrlash esa trubaga haqiqiy oqim sharoitida signal yuborishni nazarda tutadi va natijalar real tizim sharoitini aks ettiradi. Elektron kalibrlash sensor signallarini avtomatik sozlash va yuqori tezlikdagi o‘lchashlarni amalga oshirish imkonini beradi. Har bir metodning o‘z afzalliklari va cheklovlari mavjud, shuning uchun trubalarni samarali ishlatish uchun metodlarni to‘g‘ri tanlash zarur.

Adabiyotlarni tahlil qilish. Aerodinamik trubalarda oqim o‘lchash sohasida ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Trubalar havo yoki gaz oqimini aniqlashda asosiy vosita sifatida ishlatiladi, va ularning o‘lchash aniqligi sanoat va ilmiy tadqiqotlar uchun muhimdir. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, truba shakli, diametri, sensor turi va o‘lchash sharoitlari oqim natijalariga bevosita ta’sir qiladi.

Smith (2018) aerodinamik trubalarda oqim o‘lchashni standartlashtirish va kalibrlashning zarurligini ta’kidlaydi. U o‘lchash xatolarini kamaytirish uchun statik va dinamik kalibrlash metodlarini qo‘llashni tavsiya qiladi. Statik kalibrlash laboratoriya sharoitida qulay bo‘lsa, dinamik kalibrlash real oqim sharoitida yuqori aniqlik beradi. Smith shuningdek, Pitot trubasi va Venturi trubalarining o‘lchash aniqligi turli sharoitlarda sezilarli farq qilishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Lee (2020) aerodinamik trubalarni kalibrlash bo‘yicha batafsil metodlarni taqdim etadi. Unga ko‘ra, elektron sensorli trubalar (hot-wire anemometr) yuqori tezlikli oqimlarni aniqlashda qulay bo‘lib, sezgirligi yuqori va natijalari tezkor. Biroq, bu turdagi trubalar qimmat va muntazam kalibrlashni talab qiladi. Tadqiqotda shuningdek, turli kalibrlash usullarini birlashtirish orqali o‘lchash aniqligi sezilarli darajada oshishi ko‘rsatilgan. ISO 3966:2008 standarti aerodinamik trubalar bilan oqim o‘lchashda velocity-area usullarini tavsiya qiladi. Standart Pitot-static trubalarining o‘lchash prinsiplarini, shuningdek kalibrlash va o‘lchash sharoitlarini aniqlab beradi. Ushbu standart laboratoriya va sanoat sharoitida o‘lchash natijalarini bir-biriga solishtirish imkonini beradi. White (2016) “Viscous Fluid Flow” kitobida truba orqali oqim o‘lchash jarayonida viskozlik va laminar/turbulent oqim holatlarining natijaga ta’siri batafsil tahlil qilingan. Unga ko‘ra, laminar oqimda o‘lchash aniqligi yuqori, lekin turbulent oqimda trubaning shakli va diametri natijalarga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shuningdek, zamonaviy tadqiqotlarda turli kalibrlash metodlarini birlashtirish orqali oqim o‘lchashning aniqligi va ishonchliligi oshirilgani qayd etilgan (Zhang, 2019; Kumar, 2021). Bu usullar sanoat va aerokosmik sohalarda oqim monitoringini optimallashtirishga xizmat qiladi. Ushbu maqola aerodinamik trubalarda o‘lchash usullarini tahlil qilish, kalibrlash metodlarini solishtirish va turli sharoitlarda aniqlikni baholashga bag‘ishlangan. Tadqiqot natijalari sanoat va ilmiy sohalarda oqim o‘lchash samaradorligini oshirishga yordam beradi.

Materials and Methods. Tadqiqot aerodinamik trubalarda oqim o‘lchash va ularni kalibrlash usullarini solishtirishga qaratilgan. Ishda uch turdagi trubalar tanlandi: Pitot trubasi, Venturi trubasi va Hot-wire anemometr. Har bir truba turli oqim tezligi va sharoitlarda ishlash xususiyatlariga ega bo‘lib, ularning aniqligi va sezgirligi o‘rganildi.

1. Materiallar:

Pitot trubasi (standart ISO 3966 mos)
Venturi trubasi (diametri 20 mm, uzunligi 150 mm)
Hot-wire anemometr (yuqori tezlik va sezgirlikka ega sensor)
Barometr va termometr (laboratoriya sharoitida havo bosimi va haroratini aniqlash uchun)
Havo oqimi generatori (tezlikni 1–20 m/s oralig‘ida sozlash imkonini beradi)
O‘lchov qurilmalari (elektron voltmetr, kompyuterga ulanadigan sensorlar)

2. Tadqiqot sharoiti: O‘lchashlar laboratoriya sharoitida simulyatsiya qilindi. Havo oqimi generatori yordamida turli tezlikdagi oqimlar yaratilgan. Har bir truba turli tezliklarda 5 marta takroriy o‘lchashlarga duchor qilindi, shunda o‘lchashlarning takrorlanuvchanligi va aniqligi baholandi.

3. Kalibrlash metodlari:

- **Statik kalibrlash:** Trubalar laboratoriya sharoitida barometr va termometr yordamida tekshirildi. Har bir o‘lchov natijasi standart sharoitga moslashtirildi.
- **Dinamik kalibrlash:** Trubaga ma’lum tezlikdagi havo oqimi yuborildi va o‘lchash natijalari real oqim sharoitida solishtirildi. Bu metod oqimning turli tezlik va bosim sharoitida trubaning aniqligini baholash imkonini berdi.
- **Elektron kalibrlash:** Sensorlar kompyuterga ulanib, chiqish signallari avtomatik sozlandi. Bu metod tezkor natija berib, yuqori tezlikdagi o‘lchashlarni qulay amalga oshirish imkonini yaratdi.

4. O‘lchov va tahlil usullari:O‘lchov natijalari elektron qurilmalar orqali yozib olindi va statistika usullari yordamida tahlil qilindi. Har bir truba uchun o‘lchash aniqligi, xatolik darajasi va takrorlanuvchanligi baholandi. Natijalar turli kalibrlash metodlari bilan solishtirildi va eng optimal metod aniqlash uchun diagramma va jadvallar tuzildi.

5. Tadqiqotning takrorlanuvchanligi: Tadqiqot har bir truba va kalibrlash usuli bo‘yicha 5 takroriy o‘lchashdan iborat bo‘lib, natijalar o‘rtacha qiymat va standart og‘ish bilan ifodalandi. Bu usul o‘lchash natijalarining ishonchliligi va takrorlanuvchanligini ta’minladi.

Research Discussion. Tadqiqot natijalari aerodinamik trubalarda o‘lchashning turli kalibrlash usullari samaradorligini ko‘rsatdi. Pitot trubasi, Venturi trubasi va Hot-wire anemometr yordamida olib borilgan o‘lchashlar turli sharoitlarda baholandi va har bir usulning afzalliklari va kamchiliklari aniqlash mumkin bo‘ldi.

1. Statik kalibrlash natijalari: Statik kalibrlash laboratoriya sharoitida oson va qulay amalga oshirildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, statik kalibrlash metodida o‘lchash xatoligi ±2% atrofida bo‘ldi. Bu metod ko‘proq doimiy va nazorat qilinadigan sharoitlarda samarali, ammo real oqim sharoitida natijalarning aniqligi pastroq bo‘lishi mumkin.

2. Dinamik kalibrlash natijalari. Dinamik kalibrlash real oqim sharoitida o‘lchashlarni amalga oshirish imkonini berdi. Bu metod Pitot va Venturi trubalari uchun yuqori aniqlikni ta’minladi (±1%). Natijalar shuni ko‘rsatadiki, real oqim sharoitida trubaning shakli va diametri oqim parametrlari natijasiga sezilarli ta’sir qiladi. Dinamik kalibrlash, shuningdek, oqimning turli tezliklarida trubaning javobini baholash imkonini beradi.

3. Elektron kalibrlash natijalari: Hot-wire anemometr bilan olib borilgan elektron kalibrlash yuqori tezlikdagi oqimlarni aniqlashda qulay bo‘ldi. Bu metod tezkor natija beradi va o‘lchashlarni avtomatlashtirish imkonini yaratadi. Biroq, elektron sensorlarning sezgirligi yuqori bo‘lgani sababli, ularni muntazam kalibrlash va ehtiyotkorlik bilan ishlatish zarur.

4. Usullarni solishtirish: Taqqoslash natijalaridan ko‘rinib turibdiki, turli kalibrlash usullarini uyg‘unlashtirish eng optimal natijani beradi. Statik metod laboratoriya sharoitida qulay bo‘lsa, dinamik kalibrlash real tizim sharoitida yuqori aniqlik beradi. Elektron kalibrlash esa yuqori tezlikdagi va tezkor monitoringni talab qiladigan holatlar uchun mos keladi.

5. Amaliy ahamiyati: Natijalar sanoat va ilmiy tadqiqotlarda oqim o‘lchashni optimallashtirish imkonini beradi. Kalibrlash metodlarini to‘g‘ri tanlash orqali o‘lchash xatolarini kamaytirish, tizim samaradorligini oshirish va xavfsizlikni ta’minlash mumkin. Shu bilan birga, turli metodlarni birlashtirish oqim monitoringining ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi.

Xulosa Ushbu tadqiqot aerodinamik trubalarda o‘lchash usullari va kalibrlash metodlarini tahlil qilishga bag‘ishlangan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki:
Aerodinamik trubalarda o‘lchash aniqligi va ishonchliligi kalibrlash metodiga bevosita bog‘liq. Statik kalibrlash laboratoriya sharoitida qulay va takrorlanuvchan natija beradi, ammo real oqim sharoitida uning aniqligi cheklangan. Dinamik kalibrlash real oqim sharoitida yuqori aniqlikni ta’minlaydi, lekin jarayoni murakkab va ko‘proq vaqt talab qiladi.
Elektron kalibrlash yuqori tezlikdagi oqimlarni aniqlash uchun samarali, ammo sensorlarning sezgirligi va muntazam kalibrlash talab etiladi.
Turli kalibrlash metodlarini uyg‘unlashtirish orqali aerodinamik trubalar bilan o‘lchash natijalarining aniqligi va ishonchliligi sezilarli darajada oshiriladi.
Natijalar sanoat, energetika va ilmiy tadqiqotlarda aerodinamik trubalar bilan oqim monitoringini optimallashtirishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, tadqiqot kalibrlash metodlarini tanlashda samarali strategiyalar ishlab chiqish uchun ilmiy asos yaratadi.

REFERENCES

1. Smith, J. (2018). *Fluid Mechanics and Aerodynamic Measurement*. New York: Springer.
2. Lee, K. (2020). *Calibration Methods for Flow Measurement Devices*. London: Elsevier.
3. ISO 3966:2008. *Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity-area methods using Pitot-static tubes*.
4. White, F. (2016). *Viscous Fluid Flow*. McGraw-Hill Education.
5. Zhang, L. (2019). *Modern Techniques in Aerodynamic Flow Measurement*. Journal of Fluid Engineering, 141(7), 071101.
6. Kumar, R. (2021). *Advances in Flow Sensor Calibration Methods*. International Journal of Mechanical Sciences, 195, 106220.
7. White, F. M. (2011). *Fluid Mechanics*. 7th Edition. McGraw-Hill Education.
8. Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2013). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons.
9. Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2015). *Introduction to Fluid Mechanics*. 9th Edition. Wiley.