



SUYUQLIK SATHINI O'LCHASH PARAMETRLARINING TAHLILI VA ZAMONAVIY USULLARI

Bo'ronov Bobirmirzo Alisher o'g'li

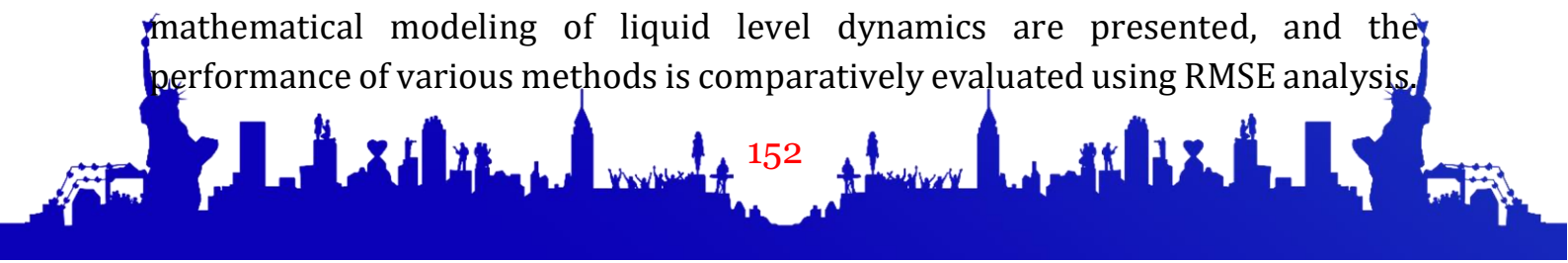
Assistant Islom Karimov nomidagi Toshkent
davlat texnika universiteti Toshkent sh.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17276348>

Annotatsiya: Ushbu maqolada sanoat texnologik jarayonlarini avtomatlashtirishda suyuqlik sathini o'lchash masalalari keng yoritilgan. Suyuqlik sathini aniqlash va nazorat qilish jarayoni jarayon xavfsizligi, barqarorligi hamda samaradorligini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Maqolada mexanik va gidrostatik usullar kabi an'anaviy yondashuvlar bilan bir qatorda ultratovush, radar, kapatsitiv hamda optik va lazerli texnologiyalar kabi zamonaviy usullar tahlil qilingan. Har bir usulning fizik printsiplari, afzalliklari va cheklovlari keltirilgan hamda ularning sanoatdagi qo'llanish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, IoT asosida monitoring, aqlli sensorlardan foydalanish va sun'iy intellekt integratsiyasi orqali real vaqt rejimida sathni nazorat qilishning istiqbollari yoritilgan. Suyuqlik sathining matematik modellashtirish asoslari ko'rsatilib, turli usullar samaradorligi RMSE tahlili yordamida qiyosiy baholangan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, radar va ultratovushli usullar murakkab sanoat sharoitlarida yuqori aniqlik beradi, kapatsitiv va optik usullar esa kichik hajmdagi idishlar va yuqori sezuvchanlik talab etiladigan jarayonlarda samarali hisoblanadi.

Kalit so'zlar: Suyuqlik sathini o'lchash, Mexanik usullar, Hidrostatik usullar, Ultratovush sensori, Radar texnologiyasi, Kapatsitiv datchiklar, Optik va lazerli o'lchovlar, Sanoat jarayonlarini avtomatlashtirish, IoT asosida monitoring, Aqlli sensorlar

Abstract: This article provides a comprehensive analysis of liquid level measurement in industrial process automation. Accurate determination and control of liquid level are crucial for ensuring process safety, stability, and efficiency. The paper examines both traditional approaches such as mechanical and hydrostatic methods, as well as modern techniques including ultrasonic, radar, capacitive, and optical/laser-based technologies. The physical principles, advantages, and limitations of each method are described, alongside their applicability in different industrial environments. Furthermore, the study highlights the prospects of IoT-based monitoring, the use of smart sensors, and artificial intelligence integration for real-time level control. The fundamentals of mathematical modeling of liquid level dynamics are presented, and the performance of various methods is comparatively evaluated using RMSE analysis.

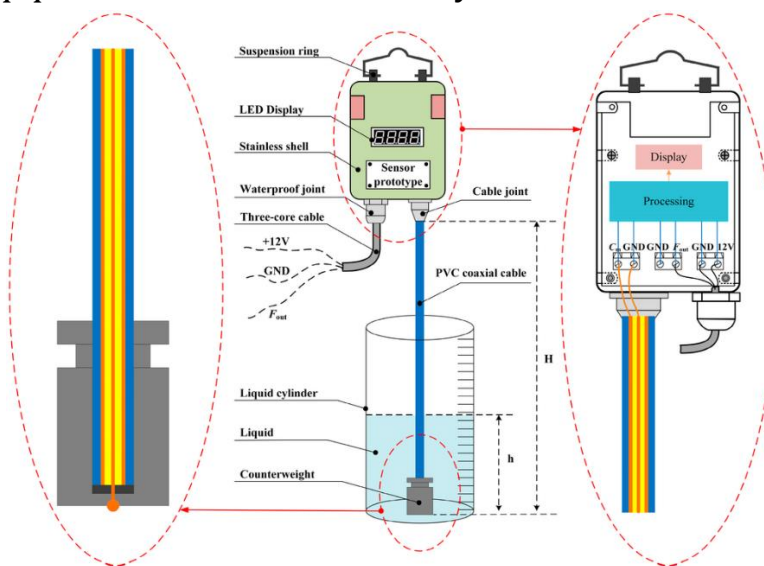




The results indicate that radar and ultrasonic methods provide high accuracy under complex industrial conditions, while capacitive and optical methods are particularly effective in small-scale vessels and applications requiring high sensitivity.

Keywords: Liquid level measurement, Mechanical methods, Hydrostatic methods, Ultrasonic sensor, Radar technology, Capacitive sensors, Optical and laser measurements, Industrial process automation, IoT-based monitoring, Smart sensors

Sanoat texnologik jarayonlarini avtomatlashtirishda suyuqlik sathini o'lchash muhim parametrlar qatoriga kiradi. Chunki suyuqlik sathi jarayonning xavfsizligi, barqarorligi va samaradorligini belgilovchi asosiy ko'rsatkichlardan biridir. Masalan, kimyo va neft-gaz sanoatida reaktorlar va kolonnalardagi sathning aniqligi kimyoviy reaksiyalar samaradorligiga ta'sir etsa, energetika sohasida qozon va issiqlik almashinish qurilmalaridagi suyuqlik darajasi jarayonning energetik muvozanatini saqlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Shu sababli suyuqlik sathini o'lchash masalasi nafaqat amaliy, balki ilmiy jihatdan ham keng ko'lamda tadqiqot talab etadigan dolzarb yo'nalish hisoblanadi. Ilmiy adabiyotlarda suyuqlik sathini aniqlash va nazorat qilish usullari turli yondashuvlar asosida tasniflanadi: mexanik, gidrostatik, elektr, optik va akustik metodlar. Har bir usulning o'ziga xos afzalliklari va cheklovlari mavjud bo'lib, ularning qo'llanish sohasi asosan ishlab chiqarish muhiti, jarayon tezligi, aniqlik darajasi va iqtisodiy samaradorlik bilan belgilanadi. Shu jihatdan suyuqlik sathini o'lchash bo'yicha zamonaviy texnologiyalarni ilmiy tahlil qilish va mavjud tajribalarni umumlashtirish sanoat avtomatlashtirish sohasidagi ilmiy-tadqiqotlar uchun muhim ahamiyat kasb etadi.



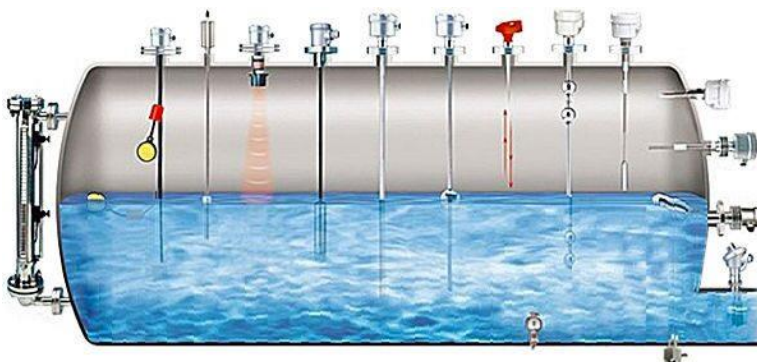


1-rasm. Kapasitif suyuqlik sathi o'lchash sensori konstruktsiyasi va ishlash prinsipi sxemasi.

So'nggi yillarda sath o'lchash texnologiyalarida sezilarli innovatsion siljishlar kuzatilmoqda. An'anaviy mexanik va gidrostatik qurilmalar oddiy va arzon bo'lishiga qaramay, murakkab va agressiv muhitlarda talab darajasida ishlay olmaydi. Shu sababli ultratovush, radar va lazer texnologiyalariga asoslangan zamonaviy sath o'lchagichlar keng qo'llanilmoqda. Bundan tashqari, raqamli signalni qayta ishlash, IoT va bulutli texnologiyalar bilan integratsiya qilish, sun'iy intellekt yordamida o'lchov ma'lumotlarini tahlil qilish kabi yangi yo'nalishlar ham faol rivojlanmoqda. Sanoat jarayonlarida suyuqlik sathini aniq va ishonchli o'lchashning bir qancha usullari mavjud bo'lib, ularning har biri o'z printsipi, afzallik va kamchiliklariga ega. Bu usullarni ketma-ketlikda ko'rib chiqish orqali ularning rivojlanish bosqichlari va zamonaviy texnologiyalar bilan bog'lanishini tushunish mumkin. Avvalo mexanik usullar haqida to'xtalish lozim. Eng sodda va qadimiy bo'lgan bu usullarda suyuqlik yuzasiga joylashtirilgan suzuvchi element balandlikka ko'tarilib-tushadi va shu orqali sathni ko'rsatadi. Bu tizim oddiy konstruktsiyaga ega bo'lsa-da, mexanik qismlarning ishqalanishi va tashqi ta'sirlarga sezuvchanligi sababli zamonaviy sanoat sharoitida yetarli darajada ishonch bermaydi. Shu bois mexanik usullar ko'proq maishiy xo'jaliklarda yoki murakkab bo'lmagan jarayonlarda qo'llaniladi. Mexanik yondashuvlardan keyingi bosqichda gidrostatik usullar paydo bo'lgan. Bu usul suyuqlik ustuni hosil qiladigan bosimni o'lchashga asoslanadi:

$$P = \rho gh$$

bu yerda P — bosim, ρ — suyuqlik zichligi, g — erkin tushish tezlanishi, h — sath balandligi.



2-rasm. Sanoat texnologik rezervuarida turli xil suyuqlik sathini o'lchash qurilmalari va ularning joylashuvi.

Ushbu formula oddiy va ishonchli bo'lsa-da, zichlikning harorat va konsentratsiyaga bog'liqligi xatolikni oshiradi. Shu sababli gidrostatik usullar suv omborlari va nasos stansiyalarida keng qo'llansa-da, kimyo va neft-gaz sanoatida



yetarli aniqlik bermaydi. Bu cheklovlarni bartaraf etish uchun ultratovushli usullar ishlab chiqildi. Ultratovush datchiklari sathga to'liq yuborib, uning qaytish vaqtini o'lchaydi:

$$h = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

bu yerda c — tovush tezligi, Δt — qaytish vaqti. Ultratovushli texnologiyaning afzalligi shundaki, u suyuqlikning rangiga, shaffofligiga yoki kimyoviy xossalriga bog'liq emas. Ammo havoning harorati va bosimi o'zgarishi natijasida tovush tezligining farqlanishi ayrim xatoliklarni yuzaga keltiradi. Keyingi yuksalish bosqichi sifatida radar usullar qo'llanila boshladi. Bu usul ultratovushga o'xshash printsipga ega, biroq unda elektromagnit to'liqlar ishlatiladi. Formulasi quyidagicha:

$$h = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

bu yerda $v \approx 3 \times 10^8$ m/s. Radar sensorlari yuqori bosim, yuqori harorat va changli muhitlarda ham aniq natija beradi. Shu bois ular neft-gaz va kimyo sanoatida, ayniqsa kriogenik suyuqliklarni nazorat qilishda keng qo'llaniladi. Shu bilan birga, sanoatning ayrim sohalarida, xususan oziq-ovqat va farmatsevtika tarmoqlarida kapatsitiv usullar samarali hisoblanadi. Bu usullar suyuqlikning dielektrik o'tkazuvchanligiga asoslanadi. Ikki elektrod orasidagi sig'im

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

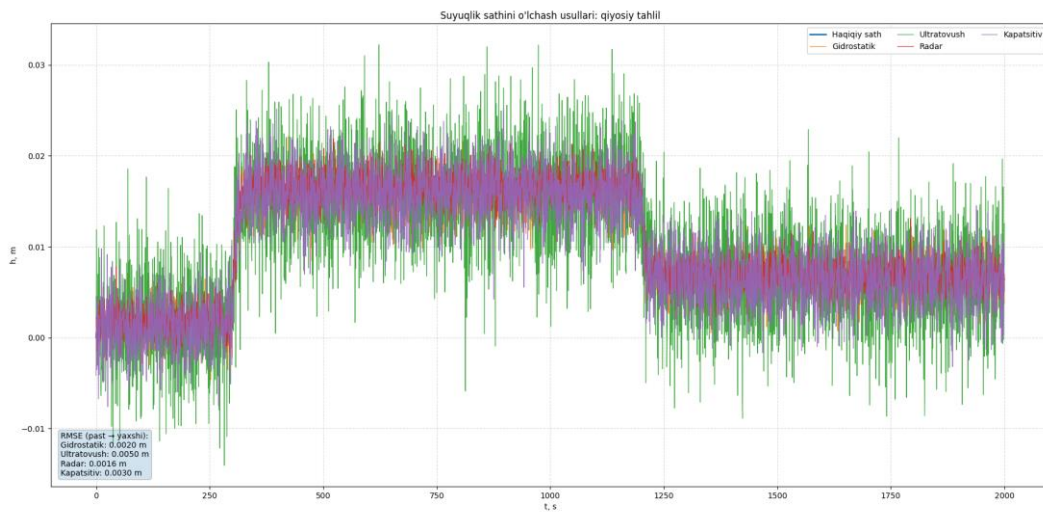
ko'rinishida aniqlanadi va sath o'zgarishi bilan ε qiymati ham o'zgaradi. Afzalligi — yuqori sezgirlik, kamchiligi esa dielektrik doimiylikning o'zgarishiga kuchli bog'liqlikdir. Yanada yuqori aniqlik talab etiladigan hollarda optik va lazerli usullar qo'llanadi. Optik sensorlar yorug'likning qaytishi yoki sinishiga asoslangan bo'lsa, lazerli usullar interferensiya va qaytish vaqtini o'lchaydi. Ularning afzalligi millimetrgacha aniqlik, kamchiligi esa yuqori narx va murakkab elektronika talabidir. Shu sababli ular asosan ilmiy tadqiqot laboratoriyalari va yuqori aniqlik zarur bo'lgan texnologiyalarda ishlatiladi.

Barcha yuqoridagi usullar o'z vaqtida sanoat ehtiyojlarini qondirgan bo'lsa-da, hozirgi bosqichda IoT asosidagi aqlli datchiklar ularga raqobat qilmoqda. Bunday tizimlar nafaqat sathni o'lchaydi, balki uni real vaqt rejimida markaziy serverlarga uzatadi, sun'iy intellekt yordamida tahlil qiladi va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari bilan integratsiyalanadi. Bu esa jarayonni yanada samarali, xavfsiz va prediktiv boshqarish imkonini beradi. Shu tariqa mexanik yondashuvlardan boshlab ultratovush, radar, kapatsitiv, optik va zamonaviy IoT texnologiyalarigacha bo'lgan rivojlanish bosqichlari suyuqlik sathini o'lchash





usullarining evolyutsiyasini ko'rsatadi. Har bir yangi bosqich avvalgisining kamchiliklarini bartaraf etib, yanada yuqori aniqlik va ishonchlilikni ta'minlab kelmoqda.



3-rasm. Haqiqiy sath va turli o'lchash usullarining (gidrostatik, ultratovush, radar va kapatsitiv) taqqosiy grafigi hamda RMSE qiymatlari.

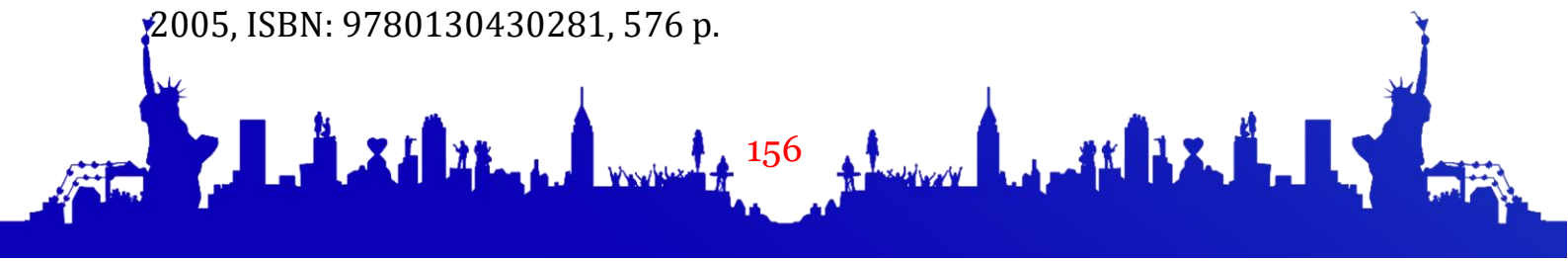
Yuqorida ko'rib chiqilganidek, sanoat jarayonlarida suyuqlik sathini o'lchash texnologiyalari tarixiy rivojlanish bosqichlarini bosib o'tgan: mexanik usullardan boshlab gidrostatik, ultratovush, radar, kapatsitiv hamda optik va lazerli usullargacha. Har bir yangi texnologiya avvalgisining kamchiliklarini bartaraf etib, yanada yuqori aniqlik, barqarorlik va ishonchlilikni ta'minlashga qaratilgan. Matematik tahlil shuni ko'rsatadiki, sathni ifodalashning asosiy modeli mass-balans tenglamasiga asoslanadi:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A_0} (q_{in} + q_{out})$$

bu tenglama turli sharoitlarda chiqish sarfini modellashtirish (Torricelli qonuni, gidravlik qarshilik, nasosli oqim) orqali kengaytiriladi. Shunday qilib, har bir o'lchash usuli amaliyotda o'zining fizik qonuniyatlari va matematik modellariga ega. Bugungi kunda IoT asosidagi aqlli datchiklar va sun'iy intellekt algoritmlari yordamida suyuqlik sathini nazorat qilish nafaqat o'lchash, balki real vaqt monitoringi, prediktiv boshqaruv va resurslarni optimallashtirish imkonini ham beradi. Bu esa sanoat jarayonlarida energiya samaradorligi, xavfsizlik va raqamli transformatsiyani ta'minlashda muhim omil bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. J. Bentley, Principles of Measurement Systems, 4th ed., Pearson Education, 2005, ISBN: 9780130430281, 576 p.





2. E. O. Doebelin, D. N. Manik, Measurement Systems: Application and Design, 6th ed., McGraw-Hill, 2011, ISBN: 9780071337115, 784 p.
3. J. Fraden, Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 5th ed., Springer, 2016, ISBN: 9783319193021, 758 p.
4. A. S. Morris, R. Langari, Measurement and Instrumentation: Theory and Application, 2nd ed., Academic Press, 2016, ISBN: 9780123819604, 640 p.
5. B. G. Lipták, Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement and Analysis, 4th ed., CRC Press, 2003, ISBN: 9780849310836, 2000 p.
6. J. G. Webster, H. Eren, Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, 2nd ed., CRC Press, 2014, ISBN: 9781439848883, 1926 p.
7. S. Mandal, "Capacitive Level Measurement Techniques: A Review," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 69, no. 12, pp. 9383–9395, 2020.
8. Y. M. Li, X. Y. Wang, "Radar-Based Liquid Level Measurement for Industrial Applications," IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 15, pp. 17012–17020, 2021.
9. К. Н. Петров, И. В. Соколов, «Современные методы измерения уровня жидкостей в химической промышленности», Измерительная техника, № 5, с. 23–29, 2019.
10. А. А. Нагорный, В. П. Кузнецов, «Радарные системы контроля уровня в энергетических установках», Автоматика и телемеханика, № 7, с. 65–72, 2021.
11. N. R. Yusupbekov, Sh. A. Ahmedov, Avtomatlashtirish va boshqaruv tizimlari nazariyasi, Toshkent: O'zbekiston Milliy Ensiklopediyasi, 2016, 420 b.
12. A. R. Xasanov, Sh. A. Axmedov, "Suyuqlik sathini avtomatik nazorat qilish usullari va ularning sanoatdagi qo'llanishi," O'zbekiston avtomatika va informatika jurnali, № 2, b. 44–52, 2020.

