

Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.
О.С. Іщенко, аспірант

Державний університет «Житомирська політехніка»

Використання ультразвукових датчиків для вимірювання рівня та густини рідини в комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах

Сучасна промисловість висуває жорсткі вимоги до безперервного моніторингу й автоматизації процесів, у яких задіяні рідкі середовища. Прецизійний контроль рівня та густини рідин напряму впливає на безпеку, ефективність і екологічні показники виробництва. Тому впровадження надійних вимірювальних приладів, здатних працювати в реальному часі й витримувати складні умови експлуатації, набуває стратегічного значення для різних галузей – від нафтохімічної до фармацевтичної та харчової промисловості.

Особливої ваги це питання набуває у контексті розвитку Інтернету речей (IoT), коли дані з сотень і тисяч датчиків рівня та густини повинні оперативно збиратися й аналізуватися у централізованих чи хмарних системах керування. Надійні ультразвукові сенсори рівня та густини, що не вимагають безпосереднього контакту із середовищем, дозволяють безпечно й точно здійснювати контроль навіть у герметичних ємностях чи агресивних середовищах. Це відкриває нові можливості для проєктування комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем, які можуть вчасно сигналізувати про відхилення від норми та автоматично коригувати параметри технологічних процесів. Саме тому дослідження й удосконалення методів ультразвукового вимірювання рівня й густини є нагальним завданням, що сприяє підвищенню безпеки, продуктивності й економічності роботи промислових підприємств.

Основна перевага ультразвукових рівнемірів – це безконтактність вимірювання, що забезпечує безпеку і надійність при роботі з агресивними або небезпечними рідинами, відсутність рухомих частин і мінімальне технічне обслуговування. Вони мають достатню точність і діапазон для більшості задач. До обмежень ультразвукових методів належить залежність від середовища поширення звуку, а також децю менша точність порівняно з іншими високоточними методами. Практичне значення ультразвукових датчиків полягає у підвищенні автоматизації та безпеки виробництва.

Ключові слова: ультразвук; рівень рідини; густина рідини; датчик рівня; Інтернет речей.

Актуальність теми. Прецизійний контроль рівня та густини рідин є важливим завданням у багатьох галузях промисловості. Надійний моніторинг рівня рідини в резервуарах забезпечує безпечну експлуатацію – запобігає переповненням, витокам і аварійним ситуаціям, що загрожують персоналу та довкіллю [1]. Він також дозволяє оптимізувати технологічні процеси, зменшувати втрати і забезпечувати дотримання екологічних та технічних регламентів [1].

Не менш актуальним є вимірювання густини рідин, адже цей параметр пов'язаний із якістю продуктів і концентрацією розчинів у хімічних, нафтохімічних та інших процесах. У різних галузях – від гірничодобувної до водоочищення та нафтогазової – контроль густини суспензій і рідких сумішей є ключовим для забезпечення стабільності процесів [2]. Точне визначення густини дозволяє автоматизувати контроль концентрації, виявляти відхилення у складі продукту та ефективніше керувати технологічними параметрами.

Сучасні комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи потребують датчиків, здатних безперервно передавати дані про рівень і густину в реальному часі для подальшої обробки. З розвитком промислових мереж і IoT такі датчики інтегруються в автоматизовані системи керування, забезпечуючи віддалений моніторинг і своєчасне сповіщення про нештатні ситуації. Таким чином, застосування ультразвукових датчиків рівня та густини є актуальним з точки зору підвищення безпеки, відповідності нормативам та впровадження сучасних технологій автоматизації.

Аналіз останніх досліджень і технологій. Промислові системи контролю рівня історично використовують різноманітні фізичні принципи – поплавкові, ємнісні, гідростатичні, радарні тощо [3–8]. Останні дослідження і розробки фокусуються на підвищенні точності та надійності цих методів, а також на кращій інтеграції датчиків у цифрові мережі. Радіолокаційні (радарні) рівнеміри отримали значний розвиток за останні роки і часто розглядаються як провідний метод вимірювання рівня завдяки високій точності та незалежності від умов середовища [5]. Радари можуть працювати при високих тисках і температурах та не відчувають впливу пари, пилу чи властивостей самої рідини. Однак вони залишаються дорогими приладами, і для деяких застосувань їх можливості є надлишковими за співвідношенням ціна / функціональність [6]. Водночас ультразвукові датчики рівня не втрачають популярності завдяки

перевіреності технології та нижчій вартості, особливо для стандартних умов експлуатації без екстремальних факторів.

Інші технології також займають свої ніші. Ємнісні датчики рівня забезпечують просту і довговічну конструкцію без рухомих частин, але вимагають безпосереднього контакту з середовищем та калібрування під конкретну рідину; їх покази можуть дрейфувати при налипанні матеріалу на електрод чи значних температурних змінах [8]. Поплавкові датчики (механічні та магнітострикційні) є надійними і широко застосовуються для дискретного контролю та сигналізації рівня, а модернізовані версії з магнітним поплавком забезпечують безперервний вихід і високу точність. Недоліком поплавкових технологій є наявність рухомих частин і чутливість до в'язких або забруднених рідин (можливе застрягання поплавка), а також складність використання в герметичних ємностях під тиском. Гідростатичні методи (датчики тиску) – одні з найдоступніших і найпоширеніших для вимірювання рівня рідин, проте потребують знання густини середовища і дають похибку при її змінах; до того ж тривалий занурений контакт датчика з агресивними рідинами може зменшувати його ресурс [8]. Ультразвукові рівнеміри за останнє десятиліття також зазнали удосконалень. Сучасні прилади оснащуються вбудованими сенсорами для автоматичної термокомпенсації впливу температури повітря на швидкість звуку [3]. Впроваджено алгоритми цифрової обробки сигналів (наприклад, адаптивна фільтрація відлуння) для відсіву хибних відбиттів від конструкцій усередині резервуара чи від сильної турбулентності рідини [4]. Дослідження також тривають над розширенням сфер застосування ультразвуку, зокрема, розроблено методики вимірювання густини рідин ультразвуком, менш чутливі до коливань температури [9]. Отже, кожна технологія вимірювання рівня має свої переваги та обмеження (табл. 1), і вибір датчика визначається конкретними умовами та вимогами застосування [10–14].

Таким чином, ультразвукові датчики займають проміжну позицію за вартістю і характеристиками між простими контактними методами (поплавковими, гідростатичними, ємнісними) та більш дорогими радарми. Вони особливо привабливі для середовищ, де потрібен безконтактний метод, але умови не виходять за межі можливостей ультразвуку.

Метою статті є аналіз ефективності та особливостей застосування ультразвукових датчиків для вимірювання рівня та густини рідини у замкнених ємностях, а також їх інтеграції в сучасні комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи. В межах дослідження розглянуто принцип дії ультразвукових рівнемірів і густиномірів, їх переваги та обмеження порівняно з іншими методами, а також практичні аспекти впровадження цих датчиків в комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи та автоматизовані системи керування.

Вимірювання рівня рідини ультразвуковими датчиками. Кожен фізичний принцип та відповідний метод вимірювання рівня має свої переваги та обмеження (табл. 1). Відповідно, вибір датчика визначається конкретними умовами та вимогами його застосування на виробництві.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів вимірювання рівня рідини

Метод	Принцип дії та сенсор	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
Поплавковий	Механічний поплавок рухається зі зміною рівня, положення передається через перетворювач	Простота конструкції, наочність; сучасні магнітострикційні виконання дають безперервний високоточний сигнал рівня. Не потребують зовнішнього живлення у випадку простих показників [13]	Механічні рухомі частини – зношуються, можуть заклинювати у в'язких чи забруднених середовищах; потребують введення в ємність (проникнення через стінку); складно застосовувати при високому тиску або в агресивних рідинах
Ємнісний	Два електроди (щупи) формують конденсатор, ємність якого змінюється зі зміною рівня рідини (діелектрика між електродами)	Відсутність рухомих частин – довговічність конструкції; придатність для різних рідин і навіть сипучих матеріалів. Відносно невисока вартість та широкий діапазон робочих температур	Потребує контакту з рідиною (занурення щупів); чутливий до налипання продукту на електродах; залежить від діелектричної проникності рідини і її змін. Вимагає калібрування (на «порожній» і «повний» рівень), складність експлуатації при значних змінах температури чи вологості

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
Гідростатичний	Датчик тиску (п'єзореzystивний або ємнісний) вимірює гідростатичний тиск стовпа рідини від дна ємності; за відомої густини тиск перераховується в висоту рівня	Простота і надійність; низька ціна датчиків; універсальність для більшості рідин; низьке енергоспоживання, можливість вимірювання у герметичних резервуарах без проникнення зверху	Контакт із середовищем – вимагає матеріалів, стійких до корозії; похибка при зміні густини рідини (потрібне внесення поправок або вимірювання густини); необхідність періодичної повірки. Може мати підвищений відсоток відмов у агресивних рідинах (корозія мембрани, протікання через кабельний ввід)
Ультразвуковий	Ультразвуковий перетворювач (п'єзоелектричний) випромінює короткий звуковий імпульс високої частоти і приймає його відлуння від поверхні рідини. Час між посилюючою та прийомом імпульсу пропорційний відстані до поверхні	Безконтактний метод: датчик не занурений у рідину, що ідеально для агресивних, гарячих, токсичних рідин. Немає рухомих частин: мінімальне обслуговування, довгий строк служби [14]. Відносно невисока вартість порівняно з радаром. Універсальність: підходить для більшості рідин, а також може застосовуватися для сипких матеріалів	Перешкоди для звуку: піна на поверхні, густий пар або сильна турбулентність можуть поглинати чи розсіювати ультразвук, спотворюючи вимір. Обмежена дальність: типово до ~30 м [3] для стандартних датчиків; на малих відстанях наявна «мертва зона». Вимагає вільного простору: установка повинна забезпечити «поле зору» без перешкод – конструкції всередині резервуара (труби, мішалки тощо) можуть давати хибні відбиття, що потребує налаштування фільтрів ехо
Радарний	Випромінює електромагнітний мікрохвильовий сигнал (діапазон УКХ або К-діапазон) і приймає відбите від поверхні ехо. Час прольоту сигналу пропорційний відстані до рівня. Застосовуються як безконтактні (антена над рідиною), так і контактні радари (направлені хвилеводи)	Не залежить від властивостей рідини: на відміну від ультразвуку, відбивання радіохвиль визначається діелектричною проникністю, тому метод не чутливий до змін густини чи в'язкості продукту. Працює в екстремальних умовах: датчики витримують високі температури (до кількох сот °C) і тиски, можуть вимірювати рівень крізь пару, вакуум, інертний газ. Висока точність і дальність: сучасні радари забезпечують стабільну роботу на десятки метрів, доступний вільний вибір діапазону вимірювання	Висока вартість: радарні рівнеміри значно дорожчі за ультразвукові. Чутливість до діелектричної проникності: для дуже низьких ϵ_r (менше ~1.5, наприклад, зріджені гази, легкі вуглеводні) сигнал може частково проходити крізь межу «повітря – рідина» і відбиватися від дна, що ускладнює вимір. Необхідність налаштування: потребує більш складної електроніки та конфігурації (задані «мертві зони» зверху і знизу бака, калібрування під геометрію ємності)

Як видно з таблиці 1, ультразвукові датчики займають проміжну позицію за вартістю і характеристиками між простими контактними методами (поплавковими, гідростатичними, ємнісними) та більш дорогими радарними. Вони особливо привабливі для середовищ, де потрібен безконтактний метод, але умови не виходять за межі можливостей ультразвуку.

Ультразвуковий датчик рівня складається з перетворювача (як правило, п'єзоелектричного), що працює за методом імпульсного вимірювання часу відлуння сигналу [12]. Датчик випромінює короткий ультразвуковий імпульс (зазвичай частотою десятки кГц) у напрямку до поверхні рідини і приймає відбитий від неї ехосигнал. Вимірявши час між випромінюванням та прийомом відбитого ехо, пристрій обчислює відстань від датчика до рівня рідини [7]. Цей принцип аналогічний до радіолокації, але використовує звукові хвилі замість електромагнітних [5]. Якщо t – час проходження звуку в обох напрямках в мікросекундах, а c – швидкість звуку у рідині в метрах за секунду, то відстань D до поверхні рідини визначається як:

$$D = (t * 1000 / 2) / c.$$

Знаючи геометрію резервуара (наприклад, повну висоту H), можна обчислити власне рівень як

$$L = H - D.$$

Сучасні ультразвукові рівнеміри покривають діапазони вимірювання від кількох сантиметрів до кількох десятків метрів (порядку 30 м) [7], чого достатньо для більшості резервуарів середнього об'єму.

Зазвичай ультразвуковий передавач встановлюється зверху резервуара, спрямовуючи сигнал вниз до поверхні рідини. Альтернативно, можливе встановлення датчика знизу ємності (на днищі) і спрямування ультразвуку вгору – у цьому випадку сигнал проходить через товщу рідини і відбивається від межі «рідина – газ». Такий підхід використовується рідше, але має низку переваг: визначення рівня підтоварної рідини, менший вплив піни. Приклад роботи ультразвукового рівнеміра наведено на рисунку 1. Передавач генерує акустичний сигнал, що поширюється в рідині до поверхні рідини, відбивається і реєструється приймачем. На основі вимірюного часу датчик визначає рівень. У реальних умовах на форму і амплітуду отриманого ехосигналу можуть впливати різні фактори: наявність внутрішніх конструкцій (труб, змішувачів), пінна поверхня рідини, хвилювання або сторонні відбиття. Тому ультразвукові рівнеміри повинні будувати профіль ехо – залежність часу відлуння і виділяють правильний сигнал від поверхні серед множини відлунь. Це дозволяє відфільтрувати хибні відлуння від стін або арматури.

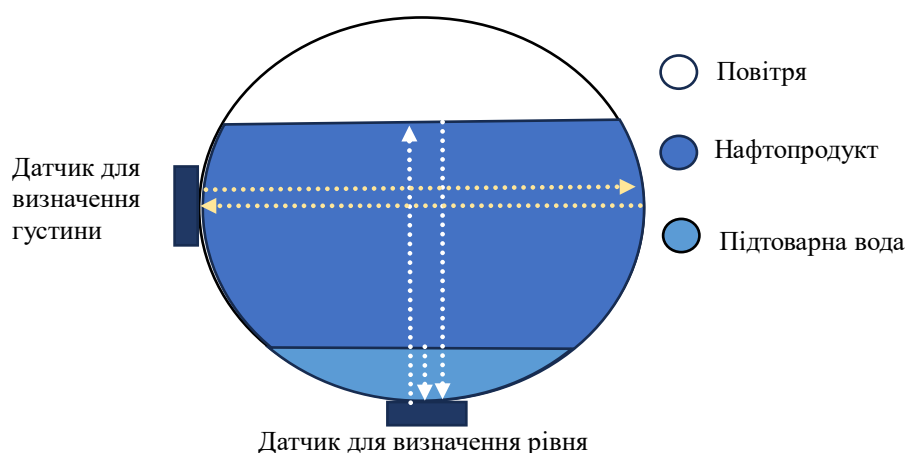


Рис. 1. Вимірювання параметрів рідини за допомогою ультразвуку

Для більшої точності вимірюють декілька відлунь з одного сигналу і виділяють корисний сигнал (табл. 2).

Таблиця 2

Відлуння на одиничний сигнал ультразвукового випромінювання

Відлуння 1, мксек	Відлуння 2, мксек	Відлуння 3, мксек	Відлуння 4, мксек
2506.9	2604.1	5114.3	7745.8
2507.1	2604.1	5114.6	7746.1
2506.9	2604.1	5114.8	7740.1

Отримані результати рівня рідини в резервуарі з відповідним коефіцієнтом підсилення дають чітку картину рівня рідини з одного сигналу – відлуння 1, 3, 4 (вони мають рівні проміжки часу) та рівня підтоварної води.

Вимірювання густини рідини ультразвуковим методом. Принцип вимірювання густини рідини за допомогою ультразвуку заснований на залежності акустичних параметрів середовища від його густини.

Найпоширеніший практичний метод – транзит-часовий: вимірюється час проходження ультразвукового сигналу крізь визначений шар рідини (рис. 1), за яким обчислюється швидкість звуку, а потім – густина. Для цього ультразвуковий перетворювач встановлюється з боку резервуара таким чином, щоб ультразвуковий сигнал проходив через рідину на відому відстань L . Генератор запускає передавальний перетворювач, а приймач фіксує момент приходу імпульсу, що відбився від стінки резервуару. Знаючи L і вимірявши час прольоту t , обчислюється швидкість звуку:

$$c = (1000 * L) / (t / 2).$$

Далі використовується наперед відома або експериментально визначена залежність густини від швидкості і температури для певної рідини

$$\rho_0 = \text{function}(c, T).$$

Інший підхід до ультразвукового визначення густини базується на вимірюванні коефіцієнта відбиття та затухання ультразвуку на межі середовищ. На межі поділу твердого тіла і рідини частка відбитої хвилі залежить від акустичного імпедансу рідини. Ультразвуковий імпульс, спрямований з твердого датчика у рідину під кутом, частково відбивається назад – амплітуда відбитого сигналу відносно посланої ΔA_0

визначається різницею імпедансів. Якщо імпеданс рідини змінюється, це впливає на амплітуду відбиття. Таким чином, вимірюючи амплітуду відбитого сигналу, можна оцінити густину. Реалізація цього принципу складніша: зазвичай використовується резонансний метод – п'єзоперетворювач, що контактує з рідиною, збуджується на резонансній частоті, і вимірюється його вихідна напруга, пропорційна акустичному опору середовища [10]. Такий підхід забезпечує високу точність і можливість роботи при незнайомих властивостях рідини, але конструктивно складніший.

Температурна компенсація при вимірюванні густини. Оскільки і швидкість звуку, і акустичний імпеданс рідини залежать не тільки від густини, але й від температури (через зміну густини зі зміною температури), критично важливо враховувати температурний вплив. В ультразвукових густиномірах зазвичай передбачено датчик температури, що вимірює температуру рідини в зоні контролю. Отримане значення використовується для двох цілей:

- приведення вимірної швидкості звуку до стандартних умов або до калібрувальної кривої;
- корекції обчисленої густини на температурне розширення рідини.

Наприклад, методика, описана в роботі [9], полягає у вимірюванні амплітуди відбитого сигналу з використанням чвертьхвильового узгоджувального шару, що значно підвищує чутливість до густини і мінімізує вплив температури.

Висновки. Ультразвукові датчики рівня та густини рідини зарекомендували себе як ефективний засіб контролю в промислових інформаційно-вимірювальних системах. Основна перевага ультразвукових рівнемірів – це безконтактність вимірювання, що забезпечує безпеку і надійність при роботі з агресивними або небезпечними рідинами, відсутність рухомих частин і мінімальне технічне обслуговування. Вони мають достатню точність і діапазон для більшості задач: типова похибка вимірювання рівня становить кілька міліметрів або частки відсотка від повного діапазону, а дальність – до кількох десятків метрів. Ультразвукові густиноміри дозволяють безперервно відстежувати щільність рідин або суспензій без використання витратних матеріалів чи радіоактивних джерел, що сприяє екологічності та безпечності вимірювань. Вони особливо корисні для контролю якості продукції та концентрації реагентів у режимі реального часу.

До обмежень ультразвукових методів належить залежність від середовища поширення звуку (необхідність компенсації температури, чутливість до газових прошарків, бульбашок, піни), а також дещо менша точність порівняно з деякими іншими високоточними методами (наприклад, радарними рівнемірами чи коріолісовими густиномірами). Проте виробники активно вдосконалюють ці прилади – впроваджуються алгоритми цифрової обробки сигналів, самодіагностика та автонастроювання, що розширює сферу ефективного застосування ультразвукових датчиків. Сучасні ультразвукові сенсори вже відповідають вимогам міжнародних стандартів щодо вимірювальних приладів рівня (наприклад, стандарт [11] регламентує процедури тестування рівнемірів, що підтверджує їх зрілість як промислового інструменту).

Практичне значення ультразвукових датчиків проявляється у підвищенні автоматизації та безпеки виробництва. Їх використання дозволяє будувати комп'ютеризовані системи моніторингу резервуарів: дані рівня і густини автоматично збираються, передаються і обробляються, генеруючи сигнали керування або тривоги. Це сприяє запобіганню аварій, забезпечує виконання регламентів охорони довкілля та технологічних процедур, а також оптимізує витрати сировини і енергії за рахунок точнішого контролю процесів.

Список використаної літератури:

1. Best Chemical Liquid Level Sensors: Ensuring Safety and Efficiency in Industrial Applications / LiquidLevelSensor. – 2023 [Electronic resource]. – Access mode : LiquidLevelSensor.co.uk.
2. Density meter / Wikipedia. – 2025 [Electronic resource]. – Access mode : https://en.wikipedia.org/wiki/Density_meter.
3. VEGASON Series 60/70 Ultrasonic Level Sensors – Data Sheet. Technical documentation / Vega Grieshaber KG.
4. Beginner's Guide to Ultrasonic Level Transmitters / Coulton Instrumentation Ltd.
5. Peterson S. Radar vs. Ultrasonic Level Sensors: Comparing the Advantages and Disadvantages to Find the Best Solution for Reliable Level Measurement / S.Peterson. – 2022.
6. What's the Best Tank Level Sensor? Choose for Accuracy and Reliability / WellAware : Industry Blog. – 2021.
7. Woolf P. Датчики рівня (розд. 3.4) / P.Woolf // *Динаміка та контроль хімічних процесів*. – 2022. – Розд. 3–4.
8. Основні типи датчиків рівня / Спецавтоматика Україна. – 2016.
9. Rekuviene R. Ultrasonic Technique for Density Measurement of Liquids in Situ Extreme Conditions / R.Rekuviene, E.Zukauskas, L.Mazeika // *Sensors*. – 2015. – № 15. – P. 20379–20393.
10. Ультразвуковий густиномір / Wikipedia. – 2023 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковий_густиномір.
11. Reference conditions and procedures for testing industrial and process measurement transmitters. Part 4 : Level transmitters : IEC 62828-4:2020. – International Electrotechnical Commission, 2020.
12. Emerson Automation Solutions / The Engineer's Guide to Level Measurement. – Emerson Process Management, 2013. – 72 p.
13. How Level Gauges Optimize Precision and Safety in Chemical Industry Level Measurement / General Instruments LLC. – 2021.
14. Ultrasonic level measurement – Continuous level devices / Siemens AG Process Instrumentation (US).

References:

1. LiquidLevelSensor (2023), «Best Chemical Liquid Level Sensors: Ensuring Safety and Efficiency in Industrial Applications», [Online], available at: LiquidLevelSensor.co.uk
2. «Density meter» (2025), *Wikipedia*, [Online], available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Density_meter
3. Vega Grieshaber KG, «VEGASON Series 60/70 Ultrasonic Level Sensors. Technical documentation».
4. Coulton Instrumentation Ltd, *Beginner's Guide to Ultrasonic Level Transmitters*.
5. Peterson, S. (2022), «Radar vs. Ultrasonic Level Sensors: Comparing the Advantages and Disadvantages to Find the Best Solution for Reliable Level Measurement».
6. «What's the Best Tank Level Sensor? Choose for Accuracy and Reliability», (2021), *WellAware*, Industry Blog.
7. Woolf, P. (2022), «Datchyky rivnia», *Dynamika ta kontrol khimichnykh protsesiv*, Part 3–4.
8. Spetsavtomatyka Ukraina (2016), «Osnovni typy datchykyv rivnia»
9. Rekuviene, R., Zukauskas, E. and Mazeika, L. (2015), «Ultrasonic Technique for Density Measurement of Liquids in Situ Extreme Conditions», *Sensors*, No. 15, pp. 20379–20393.
10. «Ultrazvukovi hustynomir» (2023), *Wikipedia*, [Online], available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковий_густиномір
11. International Electrotechnical Commission (2020), *IEC 62828-4:2020 – Reference conditions and procedures for testing industrial and process measurement transmitters*, Part 4: Level transmitters.
12. «Emerson Automation Solutions» (2013), *The Engineer's Guide to Level Measurement*, Emerson Process Management, 72 p.
13. General Instruments LLC (2021), *How Level Gauges Optimize Precision and Safety in Chemical Industry Level Measurement*.
14. Siemens AG Process Instrumentation, *Ultrasonic level measurement – Continuous level devices*.

Подчашинський Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».
<http://orcid.org/0000-0002-8344-6061>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- інформаційні системи та технології.

Іщенко Олександр Сергійович – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».
<http://orcid.org/0009-0003-8626-8656>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання.

Podchashynskiy Yu.O., Ishchenko O.S.

Using ultrasonic sensors to measure liquid level and density in computerized information and measurement systems

Modern industry places strict requirements on continuous monitoring and automation of processes involving liquid media. Precise control of liquid level and density directly affects the safety, efficiency and environmental performance of production. Therefore, the introduction of reliable measuring devices capable of operating in real time and withstanding difficult operating conditions is of strategic importance for various industries, from the petrochemical to the pharmaceutical and food industries.

This issue is of particular importance in the context of the development of the Internet of Things (IoT), when data from hundreds and thousands of level and density sensors must be promptly collected and analyzed in centralized or cloud-based control systems. Reliable ultrasonic level and density sensors that do not require direct contact with the environment allow for safe and accurate control even in sealed containers or aggressive environments. This opens up new opportunities for the design of computerized information and measurement systems that can signal deviations from the norm in a timely manner and automatically adjust process parameters. That is why research and improvement of ultrasonic level and density measurement methods is an urgent task that contributes to increasing the safety, productivity and efficiency of industrial enterprises.

The main advantage of ultrasonic level meters is non-contact measurement, which ensures safety and reliability when working with aggressive or hazardous liquids, the absence of moving parts and minimal maintenance. They have sufficient accuracy and range for most tasks. The limitations of ultrasonic methods include the dependence on the sound propagation medium, as well as somewhat lower accuracy compared to other high-precision methods. The practical significance of ultrasonic sensors is to increase automation and production safety.

Keywords: ultrasound; liquid level; liquid density; level sensor; Internet of Things.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2025.