

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроніки
Кафедра мікроелектроніки**

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Дмитро ТАТАРЧУК

«___» _____ 20__ р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Мікро- та наноелектроніка»
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка»
на тему: «Сенсор для визначення дебіту води»**

Виконав: студент 4 курсу, групи ДП-92
Дмитрієв Володимир Олександрович _____

Керівник: ст.викладач к.т.н.
Осінов Сергій Миколайович _____

Консультант з нормоконтролю: ст.викл.каф.МЕ, к.т.н.,
Королевич Любомир Миколайович _____

Консультант з інформаційних питань: доц.каф.МЕ, к.т.н., доц.,
Діденко Юрій Вікторович _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра мікроелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

Освітньо-професійна програма «Мікро- та наноелектроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Дмитро ТАТАРЧУК

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Дмитрієв Володимир Олександрович

1. Тема роботи «Сенсор для визначення дебіту води»,

керівник роботи ст.викладач к.т.н. Осінов С.М.,

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи 11 червня 2023

3. Вихідні дані до роботи

Аналіз історії розвитку методів вимірювання дебіту води, основні фізичні закономірності вимірювання швидкості потоку води, огляд різних методів вимірювання дебіту води, структура та принцип роботи дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором швидкості, вибір компонентів та обладнання для системи, розробка алгоритмів керування та обробки даних для системи, розробка прототипу сенсора дебіту води на основі датчика Холла та його дослідження.

4. Зміст роботи

У дипломній роботі розглянуто методи вимірювання дебіту води, опис та вибір компонентів дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором

швидкості. Розробка прототипу сенсора дебіту води на основі датчика Холла та його дослідження

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

1 історичне фото, 1 діаграма, 3 рисунків/фото з частинами різних сенсорів(або цілі сенсори) та витратомірів, 3 таблиці, 3 схеми, 1 фото складових деталей, 2 фото прототипу сенсора

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормконтроль	ст.викл.каф.МЕ, к.т.н., Королевич Любомир Миколайович	3 червня	10 червня

7. Дата видачі завдання 17 квітня 2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Інструктаж	17 квітня 2023 – 23 квітня 2023	
2	Пошук літератури	17 квітня 2023 – 21 травня 2023	
3	Ознайомлення з науковими саттями	17 квітня 2023 – 21 травня 2023	
4	Загальне ознайомлення та вивчення бази практики, її організаційної структури; екскурсія до підрозділів бази практики, ознайомлення з документацією, що регламентує її діяльність	17 квітня 2023 – 23 квітня 2023	
5	Підготовка звіту щодо проходження практики	17 квітня 2023 – 21 травня 2023	
6	Розробка прототипу	1 травня 2023 – 21 травня 2023	
7	Визначення змісту	1 травня 2023 – 21 травня 2023	

Студент

Володимир ДМИТРИЄВ

Керівник

Сергій ОСІНОВ

Реферат

Тема роботи: «Сенсор для виміру дебіту води».

Текстова частина дипломної роботи: 50 сторінок, 12 рисунків, 3 таблиці, 5 формул, 20 джерел.

Об'єкт дослідження: сенсор дебіту води.

Мета роботи: Розробка сенсору дебіта води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором швидкості потоку води в мережі вимірювального спостережного пункту .

Значимість роботи: Сенсори дебіту води є важливими компонентами для точного та ефективного вимірювання кількості протікання води. Вони забезпечують контроль та оптимізацію використання води, сприяють ефективному використанню водних ресурсів, зменшують втрати води і допомагають контролювати споживання води у різних сферах, включаючи промислові, комерційні та побутові системи.

Ключові слова: Дебіт, мікросистеми визначення дебіту води, сенсор, сенсор дебіту води, вимірювання, вимірювання води, триконтурний реєстратор швидкості, датчики, гідравлічні вимірювання.

Abstract

The topic of the work: "Sensor for measuring the flow rate of water".

The text part of the thesis: 50 pages, 12 figures, 3 tables, 5 formulas, 20 sources.

Research object: water flow sensor.

The purpose of the work: Development of a water flow sensor for a two-level automated system with a three-circuit water flow rate recorder in the network of the departmental observation point.

Significance of the work: Water flow sensors are important components for accurate and efficient measurement of the amount of water flow. They provide control and optimization of water use, promote efficient use of water resources, reduce water loss and help control water consumption in various areas, including industrial, commercial and domestic systems.

Key words: Flow rate, water flow detection microsystems, sensor, water flow sensor, measurement, water measurement, three-circuit speed recorder, sensors, hydraulic measurements.

Зміст

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів.....	8
Вступ.....	9
Розділ I Історія розвитку вимірювання дебіту води	13
Розділ II Теоретичні основи гідрологічних вимірювань.....	18
2.1 Фізичні закономірності, що лежать в основі вимірювання швидкості потоку води	18
2.2 Методи вимірювання дебіту води	19
2.2.1 Застосування технологій ультразвукових вимірювань	20
2.3 Принципи перетворення фізичних величин у сенсорах.....	25
2.3.1 Ультразвукові сенсори.....	25
2.3.2 Електромагнітні сенсори	26
2.3.3 Сенсори Карманового вихору	28
2.3.2 Сучасні сенсори для застосування у гідрології.....	29
2.4 Розгляд основних параметрів та характеристик сенсорів дебіту води	38
Розділ III Дворівнева автоматизована система з триконтурним реєстратором швидкості.....	40
3.1 Опис структури та принципу роботи системи	41
3.2 Вибір компонентів та обладнання для системи	43
3.3 Розробка алгоритмів керування та обробки даних	44
Розділ IV Розробка прототипу сенсора дебіта води на основі датчика Холла	47
4.1 Принципи побудови прототипу	47
4.2 Структурна та принципова електрична схема мікросистеми визначення дебіту води (МВДВ).....	50

4.3 Програмне забезпечення для функціонування МВДВ	50
4.4 Експериментальне дослідження МВДВ.....	52
Висновки	54
Перелік посилань.....	55
Додаток А Код для прототипу сенсора дебіта води на основі датчика Холла	58
Додаток Б Принципова схема МВДВ.....	1

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів

SCADA –Наглядовий контроль і збір даних (англ. Supervisory Control and Data Acquisition)

МВДВ - мікросистеми визначення дебіту води

Вступ

Вода є одним із найважливіших ресурсів для життя на планеті, і ефективне управління водними ресурсами має велике значення для забезпечення нашого здоров'я, економічної діяльності та екологічної рівноваги. Вимірювання швидкості течії води у водопровідних мережах є важливим етапом контролю та управління цими ресурсами.

Метою дипломної роботи є розробка датчика витрати води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором витрати води в мережі відомчого пункту спостереження. Основним завданням системи є забезпечення точного та надійного вимірювання витрат води на різних ділянках мережі, що дозволить ефективно контролювати та управляти розподілом водних ресурсів.

Існуючі методи вимірювання витрати води мають свої обмеження та недоліки. Традиційні механічні датчики тиску і об'ємні витратоміри вимагають постійного обслуговування і можуть бути неточними в умовах зміни режимів роботи системи. Проте є більш сучасні електромагнітні та ультразвукові датчики, які забезпечують більш високу точність, дорогі та складні в установці та обслуговуванні.

Актуальність проблеми

Актуальність проблеми, пов'язаної з датчиком витрати води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором витрати води в мережі відомчих спостережних пунктів, зумовлена факторами, що впливають на ефективність використання води, управління подачею та водовідведенням.

По-перше, це зростаючий попит на воду. Не секрет, що вода є життєво важливим ресурсом, і із зростанням населення та промисловим розвитком попит на воду зростає. Ефективне управління та оптимізація використання водних ресурсів набувають все більшого значення.

По-друге, це складність управління водопровідними мережами. Адже багато систем водопостачання та каналізації мають застарілу інфраструктуру та недостатньо точні методи вимірювання. Це ускладнює моніторинг розподілу води та виявлення проблем у системі.

По-третє, це потреба в точних даних. Оскільки ефективне управління водними системами вимагає точної інформації про потоки води, сенсор дозволяє контролювати та прогнозувати використання водних ресурсів та швидко реагувати на проблеми в системі.

Вчетверте, це обмеження існуючих методів вимірювання. Традиційні методи вимірювання витрати води мають свої обмеження. Бо вони можуть бути неточними, вимагати постійного обслуговування та мати обмежену ємність. Тому для точного та надійного вимірювання витрати води потрібні нові технології та датчики.

Враховуючи ці фактори, дослідження датчика витрати води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором витрати води в мережі підпорядкованих пунктів спостереження є актуальною та важливою задачею..

Мета дослідження

Метою даного дослідження є розробка сенсору дебіта води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором швидкості потоку води в мережі введеного спостережного пункту.

У рамках дослідження планується застосування наукових методів і технологій для розробки та впровадження інноваційного датчика витрати води та дворівневої автоматизованої системи з реєстратором витрати води. Ці технології дозволять точно та надійно вимірювати витрату води, збирати дані про роботу мережі та виявляти потенційні проблеми.

Результатом дослідження стане практичне впровадження розробленого датчика та системи, що дозволить покращити управління мережею водопостачання. Застосування цих технологій дозволить ефективно контролювати потік води на

різних рівнях, виявляти та усувати такі проблеми, як витoki, несправності або перевантаження системи. Крім того, збір та аналіз даних про витрату води дасть змогу забезпечити оптимальне використання водних ресурсів та спланувати ремонтні роботи з урахуванням реальних потреб та навантаження на мережу.

Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є система водопостачання та водовідведення, яка включає мережу відомчих спостережних пунктів та водотоки, що протікають по ній, тобто є саме фізична структура та процеси, пов'язані з цією системою.

Предметом дослідження є датчик витрати води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором витрати води в мережі відокремленого пункту спостереження.

Завдання дослідження

Дослідницьке завдання передбачає розробку нового датчика витрати води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором витрати води в мережі відомчого пункту спостереження. Основні завдання дослідження полягають у:

1. Розробці нового типу датчика потоку: Датчик повинен використовувати нові принципи вимірювання витрати, що робить його інноваційним у контексті сучасних методів.
2. Використання дворівневої автоматизованої системи: В рамках цього завдання планується використовувати дворівневу систему, яка працює на двох рівнях і має триконтурний реєстратор витрати води. Такий підхід є новим і дає можливість отримати більш повну інформацію про потік води, що протікає через систему.

3. Підвищення ефективності та точності вимірювань: Одним із завдань є підвищення ефективності та точності вимірювання витрати води. Розроблена сенсорно-вимірювальна система повинна забезпечувати високу точність і достовірність результатів, що дозволить ефективно управляти системою водопостачання та водовідведення, а також більш раціонально використовувати водні ресурси.

Розділ I Історія розвитку вимірювання дебіту води

Витрата води — основна гідрологічна характеристика будь-якого водотоку, необхідна при проектуванні різноманітних гідротехнічних споруд, гідроелектростанції - для розрахунку їх продуктивності, іригаційні системи - знати фактичну площу зрошуваних земель,с експлуатаційні служби з управління та розподілу водних ресурсів між сільськогосподарськими водокористувачами; річкова питна та промислова вода - розрахувати кількість води для населених пунктів і виробничих потреб без шкоди для навколишнього середовища тощо.

Витрата невеликих струмків (струмок, джерело, джерельце) можна виміряти безпосередньо, так званим об'ємним методом. Для цього необхідно перекрити потік невеликою дамбою, зняти з неї жолоб, по якому вода з водотоку вільно стікала б у ємність із відомим об'ємом, і виміряти, скільки секунд потрібно для ємність для заповнення водою, що тече з ринви.

Об'ємний метод вимірювання витрати води був запропонований давньогрецьким філософом Героном Олександрійським близько 100 року нашої ери. д. Він рекомендував використовувати сонячний годинник, щоб визначити, скільки часу потрібно, щоб наповнити контейнер! Щоправда, посудину на обмір не взяв, а викопав у руслі річечки цілий басейн.

Якщо витрата води настільки велика, що неможливо захопити воду в мірну ємність, вона не вимірюється, а обчислюється за виміряною витратою та площею її поперечного перерізу (метод «швидкість – площа»).

Дивно, що, здається, елементарна істина, яка зараз лежить в основі елементарної гідравліки:

$$Q = Fv, (1)$$

де Q - Потік

F - площа його поперечного перерізу

v - швидкість

вона увійшла в науку лише після 1628 року, коли учень Галілея Його заснував італієць Бенедетто Кастеллі. Раніше витрата води в струмку вважалася пропорційною лише площі його поперечного перерізу. Ще римлянам доводилося будувати красиві акведуки і акведуки, визначаючи потік води в них тільки по площі поперечного перерізу. Правда, до Кастеллі Герон встановив положення про те, що потік води дорівнює площі поперечного перерізу, помноженій на швидкість.

Александрія на рубежі II ст. п. е., але це не привернуло уваги вчених.

В даний час для отримання площі поперечного перерізу річки при визначенні її течії вимірюють ширину річки і її глибину на різних відстанях від берега. Виміряти швидкість течії набагато важче, тому що в різних місцях ділянки вона неоднакова — біля дна і берегів вода тече повільніше (через тертя об дно), а в середині — швидше. річка. Тому вимірювати швидкість необхідно не в одній точці течії річки, а на різних глибинах і на різних відстанях від берега по поперечному профілю. Швидкість вимірюють за допомогою основного гідрометричного приладу - гідрометричного поворотного столу. Винахід цього пристрою в кінці XVIII ст. німецьким інженером-гідротехніком Р. Вольтманом склали цілу епоху в історії гідрометрії та гідрології. Основною частиною спреdera є спіральна лопатка (пропелер, ротор), яка приводиться в рух (обертається) текучою водою - чим швидше течія, тим швидше обертається лопатка, яка підключена до тахометра.

У оригінальному подрібнювачі Woltmann механічний тахометр був прикріплений до валу подрібнювача та знаходився під водою, тому подрібнювач доводилося витягувати з води кожного разу, коли знімалися показники струму. Сучасні вертушки оснащені лічильником електроенергії, показання якого передаються на місток, на човен або катер, де сидить ареометрист, який вимірює витрату води.

Електрометр значно прискорив вимірювання витрати води через турнікет, але навіть незважаючи на це метод «швидкість — площа» залишається дуже громіздким і трудомістким, особливо на великих річках, де одне вимірювання займає багато годин.

Наприклад, перше вимірювання стоку Амазонки тривало три дні, були задіяні військові кораблі ВМС Бразилії, крім бразильських фахівців працювало чотири інженери-гідрологи з Гідрологічної служби США. Стік Амазонки вперше був виміряний у 1963 році, лише через 463 роки після її відкриття В. Пінсоном! Стік вимірювали не в гирлі, де ширина річки досягає багатьох кілометрів і її практично неможливо визначити, а на вузькій ділянці русла біля міста Обідуш, у нижній течії (площа водозбору близько 5 мільйонів км²). Тут ширина Амазонки становить «всього» 2,3 км, середня глибина близько 45 м (максимальна глибина перевищує 60 м). Середня витрата води біля цього міста становила 170 тис. м³/с, а відносно гирла річки – 220 тис. м³/с. Це приблизно в 2 рази більше, ніж оцінювали до 1963 року на основі приблизних вимірювань поплавця. .

Стік води найбільшої річки Європи - Волги - вперше був визначений в серпні 1700 року англійським інженером Джоном Перрі, запрошеним Петром I для роботи в Росії. Швидкість течії вимірювали поплавцями. Перрі отримав витрату, близьку до реальної (середня за серпень) - 6360 м³/с.

У Європі вимірювання стоку найбільших річок почалося в 1800-1810 роках, в Північній Америці, Азії та Австралії - в середині 19 століття, в Африці і Південній Америці - лише в першій чверті 20 століття. .

Шлагбаум опускають у річку на тросі чи стовпі з баржі чи баржі, ставлять на якір або тримають на тросі, натягнутому через річку. На невеликих і дуже швидких річках (наприклад, гірських), складних для роботи човном або вертлюгом вброд, часто використовують гідрометричну люльку - легкий підвісний ящик, що пересувається по натягнутому через річку тросу, в якому один або два спостерігачі-ареометри розміщуються з поворотною платформою (приклад зображено на рис.1).

Працювати в колісці, що гойдається над бурхливою річкою, спускаючи з неї вертушку в спінену воду, досить ризикована справа, тому в останні роки у зв'язку з загальною установкою для автоматизації гідрометричних робіт робляться спроби замінити люльку перехрестя на дистанційну гідрометричним об'єктом, що керується з берега. Вертушку та інші гідрометричні прилади (наприклад, глибиноміри)

опускають у воду на блоці з кабелю, протягнутого через річку за допомогою електроприводу, керованого з берега.

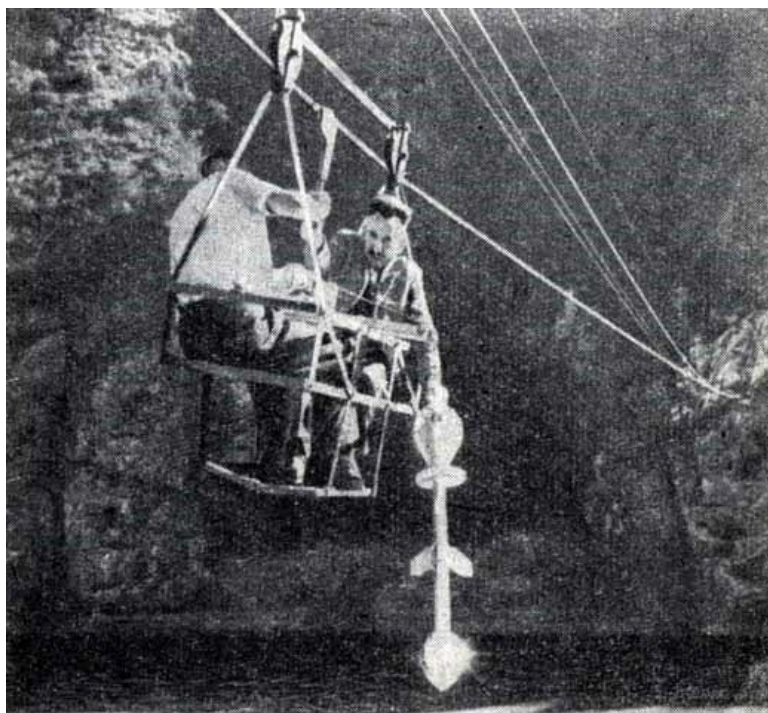


Рисунок 1 - Гідрометрична колиска. З неї опускають вертушку для вимірювання швидкості течії річки та визначення витрати води[9]

Ідеальним методом вимірювання витрати води був би метод, який не потребує вимірювання поперечного перерізу каналу або занурення лопатки у воду для вимірювання швидкості течії, тобто, це не вимагало б увімкнення ареометра та його приладів. Цей метод запропонував у 1863 р. французький інженер Т. Шлезінг. Це так званий метод змішування або хімічний метод. Він полягає в тому, що в річковий потік вливають певний об'єм розчину солі (зазвичай кухонної), концентрація якого відома, і нижче місця запуску на такій відстані, щоб розчин добре змішався з річковою водою, береться проба річкової води і визначається концентрація в ній солі. Потім по відношенню до концентрації солі в текучому розчині і в річці нижче місця запуску, а також виходячи з об'єму влитого в річку розчину визначається витрата води в річці. Ніяких вимірювань площі поперечного перерізу потоку і його швидкості не потрібно. Такий спосіб вимірювання витрати води особливо підходить

для гірських річок, але через громіздкість приладу і великої кількості необхідної солі він не отримав широкого поширення.

Дуже перспективним методом удосконалення методу вимірювання витрати води, мабуть, є метод вимірювання швидкості річки за допомогою ультразвуку. У руслі річки (під водою) встановлюють збудник ультразвукових коливань і на певній відстані нижче за течією від нього встановлюють приймач цих коливань. Вимірюючи швидкість проходження ультразвуку спочатку вниз за течією, потім проти течії (не потрібно плутати для цього віброзбуджувач і приймач, вони взаємозамінні), наскільки швидше ультразвукові коливання проходять уздовж річки, ніж вище за течією. струму, розраховується витрата.[9]

Розділ II Теоретичні основи гідрологічних вимірювань

Витратоміри — це пристрої, які використовуються для вимірювання об'ємної витрати або швидкості рідини через систему або трубу. Вони відіграють важливу роль в автоматизованих системах вимірювання та контролю рідин.[12]

Робота витратомірів заснована на різних фізичних явищах і методах вимірювання. Їх можна класифікувати за різними ознаками, такими як принцип дії, тип датчика, діапазон вимірювання та інші параметри.

Одним із найпоширеніших принципів роботи витратомірів є ультразвуковий метод вимірювання.[2]

2.1 Фізичні закономірності, що лежать в основі вимірювання швидкості потоку води

Фізичні закони - основа вимірювання потоку води, тож їх вивчення дуже важливе у дослідженнях датчиків дебіту.

Одним із основних законів фізики, який використовується для вимірювання швидкості течії води, є закон збереження маси. Відповідно до цього закону кількість рідини, що протікає через певну ділянку трубопроводу, залишається незмінною. Використовуючи дані про об'єм рідини, що проходить через цю ділянку, можна визначити швидкість потоку.

Інші важливі закони фізики, які використовуються, включають закони Бернуллі та Орнша-Фукса. Закон Бернуллі стверджує, що тиск рідини залежить від її швидкості в однорідному потоці. Цей закон можна використовувати для вимірювання швидкості потоку за допомогою манометрів, які вимірюють зміни тиску.

Закон Орнша-Фукса встановлює залежність між потоком рідини та частотою вихрових структур. Цей закон дозволяє вимірювати швидкість потоку за допомогою вихрових датчиків, які реєструють вихрові віртуальні частинки, що виникають у потоці рідини. [14]

Для вивчення фізичних законів, що лежать в основі вимірювання швидкості потоку води, використовуються різні наукові дослідження, експериментальні дані та теоретичні моделі. Основним завданням є встановлення зв'язку між фізичними параметрами потоку та вимірювальними характеристиками витратоміра з метою забезпечення точних і надійних вимірювань витрати води.

2.2 Методи вимірювання дебіту води

Існує багато методів вимірювання дебіту води і кожен має свої переваги та слабкості. Вибір найкращого методу, під ситуацію, залежить від багатьох факторів. Ось деякі методи вимірювання:

1. Магнітно-індуктивного вимірювання. Базується на принципі використання електромагнітних полів для вимірювання швидкості руху рідини. Водний потік проходить через спеціальний датчик, який містить електромагнітні котушки. Зміна індуктивності або електричного опору датчика залежить від швидкості руху рідини.[8]
2. Ультразвукового вимірювання. Базується на принципі відбиття ультразвукових хвиль від рухомої рідини. Ультразвуковий датчик розташовується на одному боці водного потоку, а приймач - на протилежному боці. Вимірювальний пристрій визначає час, що потрібно ультразвуковим хвилям на проходження через потік та зворотний шлях, що дозволяє визначити швидкість руху рідини та, отже, дебіт води. [1]
3. Воронкового вимірювання. Використання спеціального воронкового пристрою, встановленого в системі водопостачання, вона має вузький вихід, через який протікає вода. За допомогою вимірювальних пристроїв фіксується час, який потрібно для заповнення воронки до певного рівня. Знаючи об'єм воронки та час заповнення, можна визначити дебіт води.

4. Витратомірів з турбінними лопатками. Використовує турбіна з лопатками, яка приводиться в рух рухомою рідиною, вимірюється кількість обертів турбіни, що дозволяє визначити дебіт води.[20]
5. Електромагнітних витратомірів. Базується на вимірюванні електромагнітної індукції, що виникає при проходженні рухомої рідини через магнітне поле.
6. Диференційного манометра. Різниця тиску між двома точками водного потоку, за допомогою спеціального манометра вимірюється різниця тиску, яка є пропорційною швидкості руху рідини.[7]
7. Вихрових датчиків. Зміну частоти або амплітуди вихрових коливань фіксують вихрові датчики, які реагують на вихрові області, що виникають при проходженні рухомої рідини.
8. Теплового вимірювання. Через нагрівання або охолодження рідини і вимірювання зміни температури в різних точках, визначається дебіт води.[20]
9. Коріолісових витратомірів. Базується на принципі ефекта Коріоліса, який виникає при руху рухомої рідини. За допомогою спеціальних датчиків вимірюється відхилення руху рідини.[7]
10. Акустичного вимірювання. За допомогою акустичних датчиків вимірюється час проліту звукової хвилі через рухому рідину.[7]
11. Датчиків дифузії. Дифузійні датчики вимірюють зміну концентрації.
12. Гідравлічного коливання. За допомогою датчиків гідравлічних коливань вимірюється характеристика коливань, що дозволяє визначити дебіт води.
13. Оптичних датчиків. Використовуються оптичні датчики, які реагують на зміну прозорості або розсіювання світла при проходженні рухомої рідини.[12]

2.2.1 Застосування технологій ультразвукових вимірювань

В даний час спостерігається підвищений попит на якісні витратоміри великого діаметру, які широко використовуються на великих об'єктах - котельних і теплових

електростанціях, водоочисних спорудах, насосних станціях, мережах водопостачання і т.д. В Україні потреба в приладах обліку великого діаметра є дуже актуальною – підвищення цін на газ не може змусити котельні, де переважно використовуються такі прилади (з DN від 300 мм), посилити політику послідовної розрахунків за тепло. перевізники. При цьому необхідно враховувати той факт, що ринок витратомірів для вимірювання в трубах великих діаметрів дуже обмежений. З прийнятних за метрологічними показниками підходять тільки електромагнітні та ультразвукові. А ось електромагнітні, як правило, не випускають на діаметри більше 300-400 мм через значне ускладнення конструкції і збільшення металоємності пристрою. Виявляється, альтернативи ультразвуковим апаратам в цьому сегменті ринку просто немає.[3]

Ультразвукові витратоміри в останні роки привертають все більше уваги, оскільки вони широко застосовуються в багатьох сферах народного господарства. Вони успішно замінюють інші типи витратомірів для вимірювання практично всіх середовищ. Позитивні тенденції розвитку світового ринку збуту ультразвукових витратомірів показано на рис. 2. [13]

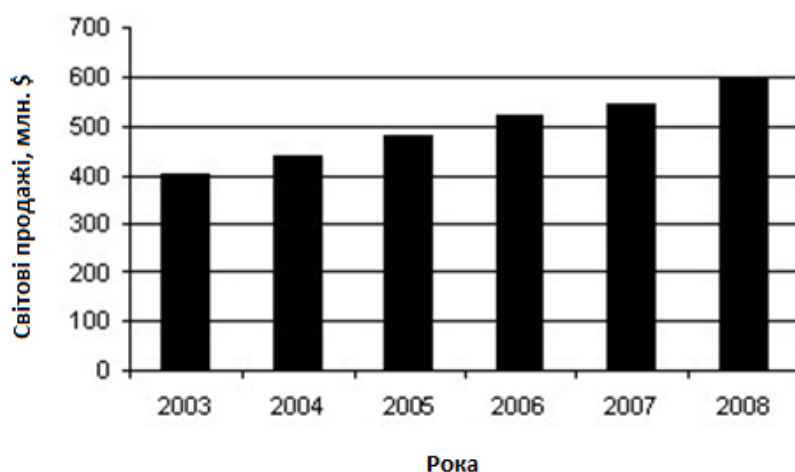


Рисунок 2 - Світові продажі ультразвукових витратомірів за роками, в млн. доларів[13]

Слід зазначити, що згідно з дослідженнями ринку, ринок ультразвукових витратомірів зростає набагато швидше, ніж ринки інших типів вимірювальних приладів. Таким чином, якщо в 2003 році він становив близько 406 мільйонів доларів, то очікується, що до кінця 2008 року ринок зросте до трохи менше 600 мільйонів

доларів, згідно з дослідженням ARC Advisory Group (США). Цим пояснюється той факт, що ультразвукові витратоміри мають ряд суттєвих переваг перед іншими приладами для вимірювання витрат. Загалом, якщо такі критерії, як висока точність, повторюваність, простота калібрування та надійність є пріоритетними при виборі того чи іншого методу вимірювання, то перевага часто віддається ультразвуковому методу.

Ультразвукова технологія є однією з небагатьох технологій, яка може вимірювати будь-які середовища: рідини, гази і навіть пару. Вимірювання практично без втрати тиску може значно заощадити витрати на насосне обладнання, особливо там, де потрібне високе тиск у трубопроводі або значні відстані транспортування.

Але, як кажуть, досконалості немає межі, і завдання подальшого підвищення ефективності ультразвукового методу, особливо точності, залишається актуальним і сьогодні. Особливо, коли мова йде про вимірювання дуже дорогих сучасних джерел енергії.

Перспективи підвищення точності вимірювань полягають в основному в особливостях методу вимірювання та технології виготовлення приладів, що реалізують цей метод, тому розглянемо фактори, які найбільше впливають на процес вимірювання та оцінимо шляхи усунення похибок. вони викликають.

Похибка, що вноситься гідродинамічний поправочний коефіцієнт має чи не найбільшу частку в загальну похибку приладу вносить неточність у визначенні цього коефіцієнта.

Під коефіцієнтом гідродинамічної поправки k розуміють ставлення

$$k = V_{cp} / V_l, \quad (2)$$

де V_{cp} – середня швидкість потоку, усереднена за перерізом витратомірної ділянки;

V_l – середня швидкість потоку, усереднена по довжині каналу зондування між п'єзодатчиками.

Неправильне прийняття того чи іншого значення поправочного коефіцієнта може викликати похибку до 5%, особливо в нижній частині діапазону вимірювань.

Щоб зменшити це значення, часто використовуються багатохордові схеми вимірювання потоку, що зменшує розкид помилок читання до $\pm 0,3\%$, особливо для 5 хорд. Якщо все ж відмовитися від традиційного однопроменевого розташування п'єзоелектричних датчиків, необхідно експериментально уточнити значення коефіцієнта гідродинамічної поправки.

Традиційно цей коефіцієнт розраховується за формулою, виведеною на основі степеневого закону розподілу швидкостей у потоці за вимірюваннями Нікурадзе.

Проблема полягає в тому, що запропонована теорія підходить лише для випадку майже ідеальної труби без зміни її конфігурації, тобто. звуження, розширення, без наявності «кишень» біля ультразвукових датчиків у частині витратоміра тощо. Крім того, запропонована формула не враховує асиметрію течії, що призводить до нерівномірного розподілу швидкостей, внаслідок чого виміряна середня швидкість не буде відповідати реальній. Виявляється, для отримання фактичних значень поправочного коефіцієнта k зручно провести чисельний експеримент і для оцінки його достовірності порівняти отримані результати з результатами натурного експерименту. Згодом такий спосіб принесе величезну економію часу і матеріальних витрат.

Чисельний експеримент проводиться фірмою «SEMPAL» на етапі розробки витратоміра. Для її реалізації насамперед створюється сітка моделі майбутньої конструкції (рис. 3).



Рисунок 3 - Сітка ультразвукового витратомірного вузла[13]

Моделювання виконується при всіх витратах в діапазоні вимірювань, який фактично охоплює різні режими потоку, від ламінарного до турбулентного. Контури розподілу швидкості дозволяють оцінити так звані проблемні зони в частині витратоміра.

На основі отриманої картини розподілу швидкостей в реакторному пристрої (рис. 4) і за допомогою відстеження акустичного променя, накладеного на цю модель, визначимо коефіцієнт гідродинамічної поправки з відносно високою точністю.

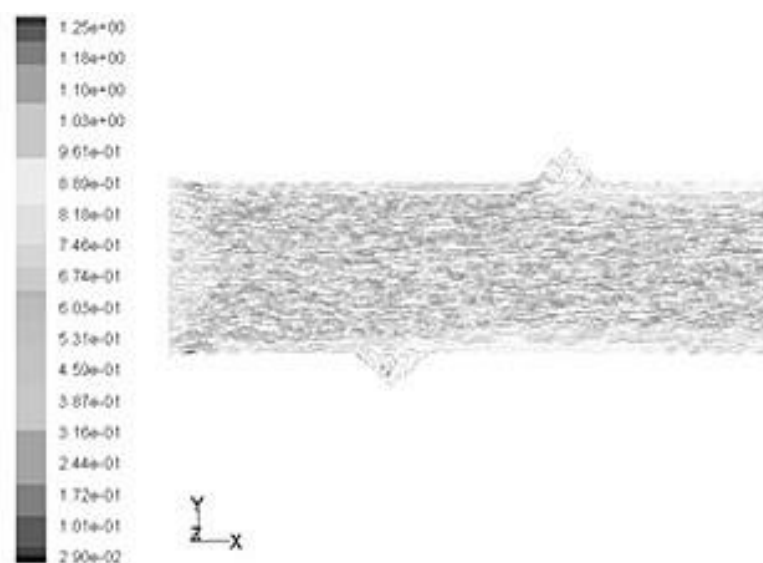


Рисунок 4 - Контура розподілу швидкостей в ультразвуковому витратомірному вузлі[12]

Чисельне моделювання також оцінює вплив місцевих опорів, що зумовлює вибір оптимальної довжини прямолінійної ділянки перед витратоміром або можливість її використання як такої вже на етапі проектування установки витратоміра на об'єкт. Для оцінки адекватності результатів чисельного моделювання використовується модельний стілець.

2.2.1.1 Температурна похибка

Ця похибка обумовлена впливом температури на розподіл швидкісної діаграми в трубі та на характер переходу ультразвукового сигналу через таке середовище. Ця

похибка, яка часто не виявляється, пояснюється тим, що більшість дебітометрів використовується в умовах, коли вода має низьку температуру.

Проте, у реальних умовах, особливо в індустрії тепловимірювальної промисловості, різниця в температурі між подачею та обробкою води може бути значною. Це призводить до утворення так званих "зайвих" витоків або втрати енергії. Така велика різниця температур впливає на точність вимірювання дебіту води.[16]

2.2.1.2 Похибка від виміру часу

В ультразвуковому вимірюванні потоку процес вимірювання часу є невід'ємною частиною. Застосування високоточної та стабільної електроніки, якісних кварцових випромінювачів, оригінальних методів вимірювання коротких інтервалів часу дозволяє сьогодні звести похибку вимірювання часу практично до нуля. Тому можна вважати, що процес вимірювання часу затримки проходження акустичних сигналів повністю відпрацьований і не вносить неточностей у вимірювання.[16]

2.3 Принципи перетворення фізичних величин у сенсорах

2.3.1 Ультразвукові сенсори

Ультразвукові сенсори дебіту води працюють за принципом вимірювання часу, необхідного для того, щоб ультразвуковий сигнал пройшов скрізь воду. Коли вода протікає через трубопровід, ультразвуковий сигнал відправляється через воду в напрямку, протилежному напрямку потоку води. Час, необхідний для того, щоб сигнал пройшов через воду, залежить від швидкості потоку води. Швидкість потоку може бути виміряна, а отже, може бути визначено дебіт води.

Ультразвукові сенсори дебіту води зазвичай мають два ультразвукових передавачі і два приймачі, що знаходяться в протилежних кінцях датчика. Один з передавачів відправляє ультразвуковий сигнал в одному напрямку через трубопровід,

тоді як інший передавач відправляє сигнал в протилежному напрямку. Коли сигнали досягають приймачів, вони обробляються і використовуються для розрахунку швидкості потоку води.

Один з переваг ультразвукових сенсорів дебіту води полягає в тому, що вони не мають рухомих деталей, тому вони менш схильні до зносу і мають довший термін служби порівняно з іншими типами сенсорів. Крім того, вони можуть бути встановлені на трубопроводі безпосередньо, тобто не потребують зняття труби.

Однак, ультразвукові сенсори дебіту води можуть бути більш чутливі до турбулентного потоку води, що може вплинути на їхню точність вимірювання. Також, вони можуть бути вплинуті наявністю повітряних кульок або забруднення у воді, що може знизити їхню точність вимірювання.

Одним з простих використань ультразвукових сенсорів дебіту води є вимірювання кількості води, яка використовується в будинку або в комерційних приміщеннях, наприклад, для обліку споживання води. Також, вони можуть бути використані в системах автоматичного зрошення для забезпечення точної кількості води, яка підводиться до рослин.

Ультразвукові сенсори дебіту води можуть бути встановлені на різні типи трубопроводів, включаючи труби з різними діаметрами. Вони також можуть бути програмовані для різних типів води, таких як прісна або солонна вода, що дозволяє їх використання в різних умовах.

У загальному, ультразвукові сенсори дебіту води є надійним та точним способом вимірювання дебіту води, що забезпечує точність та ефективність у використанні в системах водопостачання та інших водних системах. [10][11][12]

2.3.2 Електромагнітні сенсори

Принцип дії електромагнітних датчиків витрати води заснований на законі індукції Фарадея. Коли вода тече по трубі, вона взаємодіє з магнітним полем, створюваним магнітними датчиками. Це призводить до генерації електричних

сигналів в електродах, розміщених у трубі. Коли вода проходить через це магнітне поле, вона стає провідною, і це змінює електричний опір між електродами. Ці зміни в електричному опорі вимірюються сенсором та використовуються для розрахунку дебіту води.[16]

Однією з переваг електромагнітних сенсорів дебіту води є те, що вони можуть вимірювати дебіт води в широкому діапазоні витрат - від дуже малих до дуже великих. Вони також дозволяють вимірювати дебіт води в різних типах труб, включаючи труби з металу, пластику та інших матеріалів.

Однак, електромагнітні сенсори можуть бути менш точними при вимірюванні води з високою концентрацією забруднень або бути менш ефективними при вимірюванні води з низькою провідністю. Також, їх може бути складно встановити, оскільки вони потребують правильного положення в трубі та певних умов, щоб працювати належним чином.

Одним з типів електромагнітних сенсорів дебіту води є вихрові сенсори. Ці сенсори використовують вихрові ефекти, що виникають при проходженні води через вихрову камеру, щоб виміряти дебіт. У цих сенсорів використовуються спеціальні пластини, які вимірюють кількість вихрів, що утворюються, і це дозволяє розраховувати дебіт води. [14]

Однією з переваг вихрових сенсорів є те, що вони не містять рухомих частин, що зменшує ризик поломки. Крім того, вони можуть працювати з водою різної чистоти та в'язкості, що робить їх універсальними для різних застосувань.

Однак, вихрові сенсори можуть бути менш точними при вимірюванні дебіту води в малих трубах або при вимірюванні води з високою концентрацією забруднень. Також, вони можуть вимагати певного рівня водопостачання, щоб працювати належним чином.

2.3.3 Сенсори Карманового вихору

Сенсори Карманового вихору - це ще один тип електромагнітних сенсорів дебіту води, які використовують принцип вихрового ефекту для вимірювання дебіту води. У цих сенсорах використовують спеціальний датчик, який вимірює вихрі, що утворюються водою, що проходить через вихрову камеру.

Сенсори Карманового вихору мають деякі переваги над іншими типами електромагнітних сенсорів дебіту води. Одна з них - це можливість вимірювання дебіту води при великих температурах, що робить їх популярними для застосування в промисловості, де вода може бути нагріта до високих температур.

Крім того, сенсори Карманового вихору можуть бути більш точними при вимірюванні дебіту води в малих трубах, ніж вихрові сенсори, що робить їх корисними для вимірювання дебіту води в домашньому використанні та муніципальному господарстві.

Однак, сенсори Карманового вихору можуть вимагати певного рівня водопостачання та використання спеціального датчика, що збільшує їх вартість. Також, вони можуть бути менш універсальними, ніж вихрові сенсори, тому що вони можуть працювати не з усіма типами води.

Вибір конкретного типу сенсора дебіту води залежить від багатьох факторів, таких як вимоги щодо точності вимірювання, розмір труби, вимоги щодо витрат води та зручність у використанні.[8]

2.3.2 Сучасні сенсори для застосування у гідрології

2.3.2.1 Сенсор рівня води

Передбачається що основних методів вимірювання рівнів є два.

У першому випадку, рівнемір розташовується всередині потоку води, тоді як у другому випадку, основний метод полягає у розміщенні рівнемірів у спокійному колодязі, який з'єднується з відкритим каналом за допомогою труби. Вибір методу вимірювання рівня залежить від вимог до точності та достовірності результатів, а також можливостей його впровадження. У Таблиці 1 наведені технічні характеристики рівнемірів.

Таблиця 1 – Технічні характеристики рівнемірів[7]

Тип приладу	Діапазон вимірювання, м	Похибка вимірів	Вихідна інформація	Електроживлення
А. Дискретний контроль рівня				
Рейка вимірювання води переносна ГР-116	0-1	+/-0.002	Візуальна	-
Рейка морська гідрометрична ГМ-4	0-4	+/-0,01	Візуальна	-
Водомірна рейка G 1	0-1	+/-0,01	Візуальна	-
Б. Безперервний контроль рівня				
Рівномер поплавковий ГР-116	0-20	+/- 0,01(м)	Реєстрація на стрічці самописця	-
Багатоканальний регістратор-самописець LGraph2	0-20	+/- 0,01(м)	Реєстрація аналогових сигналів	-
Рівномер поплавковий РУПТ-А	0-16	+/- 0,01(м)	Реєстрація аналогових сигналів	-

Продовження таблиці 1

В. Вимір рівня				
Стрічковий самописець R 20P з зондом тиску ODS4-K	0-4 0-10 0-40	+ 0,1(%)	Реєстрація на стрічці самописцем. Аналоговий сигнал 4-20 мА	Постійна напруга 26В
Пневматичний рівнемер R 25 з датчиком "NIMBVS"	0-13	+0,1(м)	Реєстрація самописцем. Аналоговий 20мА	Постійна напруга 12 В
Перетворювач вимірювальний гідростатичного тиску "Сапфір-22Г"	0,025-25	+0,5(%)	Аналоговий сигнал 0-5мА	Постійна напруга 36 В
Датчик гідростатичного тиску ДГДВ	0-100	+0,5(%)	Аналоговий сигнал 0-5мА	Змінна напруга 220В.50Гц
Бульбашковий рівнемер "Orphimedes"	0-13	+ 0,01(м)	Цифрова інформація	Постійна напруга 6В
Датчик рівня ємності ДУЕ-М	0-6	+2,5(%)	Частотний сигнал 1-2КГц	Постійна напруга 24В
Індикатор рівня акустичний МИРУСС-В	0-20	+0,5(%)	Цифрова інформація	Змінна напруга 220В.50Гц
Датчик рівня акустичний ЕХО-5	0-30	+1,5(%)	Аналоговий сигнал 0-5мА	Змінна напруга 220В.50Гц
Датчик рівня акустичний "Kalesto"	0,5-30	+ 0,01(м)	Цифрова інформація	Постійна напруга 12 В
Датчик рівня "Honeywell"	0,5-20	+ 0,0001(м)	Аналоговий сигнал 0-5мА	Постійна напруга 12 В
Датчик рівня "QT50U"	0-8	+0,5(%)	Аналоговий вихід 4-20мА. 0-10В	Постійна напруга 24В
Датчик рівня "IRU"	0-11	+0,5(%)	Струмний 4-20мА та аналогові виходи	Постійна напруга 24В

Продовження таблиці 1

Рівномірний поплавковий многофункціональні “УПМ-2”	0-8	0,01(м)	Аналоговий сигнал 0-5мА	Постійна напруга 6В
---	-----	---------	----------------------------	------------------------

Аналіз технічних характеристик рівнемірів і вимірювального обладнання вказує наступне:

- Спеціальні гідрометричні планки з демпфером коливань рівня та деякі високоточні електронні рівнеміри, наприклад MIRUSS-V і Orphimedes, мають найвищу точність вимірювання рівня до 0,002 (м) з похибкою +0,5%.
- Вимірювання рівня за допомогою рейок і поплавків має середню похибку +0,01 (м).
- Рівнеміри та акустичні рівнеміри мають переважно похибку +1,5, що призводить до значного збільшення абсолютної похибки вимірювання рівня на межах діапазону.
- Перетворювачі і датчики гідростатичного тиску, наприклад «Сапфір-22ДГ» і ДГДВ, забезпечують високу точність вимірювання +0,25 і +0,5, відповідно, разом з оптимальною простотою і надійністю.
- Вимірювачі рівня, такі як ДУЭ-М і «Сапфір-22 ДГ», мають джерело живлення постійного струму на напругу 24 В і 36 В, тоді як іноземні прилади можуть мати джерело живлення від 6 В до 24 В.
- Всі вимірювачі рівня для загального промислового застосування мають стандартні вихідні сигнали, зокрема аналоговий струмовий вихід (0-5 мА, 0-20 мА або 4-20 мА), постійний струм і візуальний відображення на цифровому дисплеї.
- Вихідна частота сигналу для датчика рівня ДУЭ-М, призначеного для меліоративних цілей, становить 1000 Гц (ІІ-1) або 2000-4000 Гц (ІІ-2), що не дозволяє його використовувати в комплексі з іншими пристроями для загального промислового використання без додаткового пристрою для кодування інформації.

- Гідрометричні штанги та акустичні датчики рівня є найпростішими за конструкцією та найнадійнішими в експлуатації. При правильному використанні вони не потребують регулярної перевірки і можуть доповнювати один одного.[18]

2.3.2.1 Сенсори виміру швидкості течії

Існує широкий спектр методів і засобів для вимірювання швидкості течії води. Основні методи включають кінематичний, тахометричний, метод розмітки, термічний, гідродинамічний, акустичний (ультразвуковий) і електромагнітний методи. Залежно від цих методів, засоби вимірювання швидкості течії води поділяються на три групи.

Група I включає прилади і пристрої, які використовують метод маркерів або метод витіснення, такі як поплавки та речовини, що вводяться в потік.

Група II використовує пристрої, оснований на фізичних ефектах, створених проточною водою. Це можуть бути ультразвукові установки, що використовують різницю швидкості поширення звуку вздовж потоку і проти нього, або електромагнітні вимірювачі швидкості, які вимірюють різницю потенціалів у воді під час її протікання по електромагнітному контуру. Також в цю групу входять термогідрометри, які використовують теплову взаємодію між чутливим елементом і струменями води, що обтікають його. [14]

Група III включає прилади, що базуються на гідродинамічній взаємодії з потоком води, такі як гідрометричні вертушки, гідродинамічні труби, гідровани, механічні та електронні динамометри.

В оперативній гідрометрії найбільш поширеними засобами вимірювання швидкості рідини є гідрометричні вертушки та ультразвукові прилади. Таблиця 2 наводить технічні характеристики найсучасніших засобів вимірювання швидкості потоку води.[8]

Таблиця 2 – Методи виміру швидкості течії[7]

Тип пристрою	Діапазон виміру(м/с)	Похибка(%)	Вихадна інформація	Живлення
Гідрометричні вертушки				
ГМЦМ-1	0,05-4	+ -1	Візуальна	Постійна напруга 9В
М 2010	0,03-7,5	+ -1	Візуальна	Постійна напруга 9В
М 3000	0,032-7,5	+ -1	Візуальна	Постійна напруга 9В
С 2	0,025-5	+ -1	Візуальна	Постійна напруга 6В
С 20	0,03-2,5	+ -1	Візуальна	Постійна напруга 6В
Універсальна С 31	0,025-10	+ -1	Візуальна	Постійна напруга 6В
Витратомір-швидкомір МКРС	0,025-5	+ -1,5	Візуальна	Постійна напруга 4,5В
Вимірювач швидкості “Зонд”	0-10	+ -2,5-4,5	Візуальна	Постійна напруга 12В
Вимірювач течії “Наутилус С 2000”	0-2,5	+ -1	Візуальна	Постійна напруга 12В
Електромагнітні вимірювачі швидкості				
Вимірювач течії OMEGA FMG-50	0,7-100	+ -2	Аналоговий сигнал 4-20мА	Постійна напруга 24В
Інші типи вимірювачів швидкості				
Акустичний АІР-А(К)	0,01-3	+ -1,5	Візуальна	Постійна напруга 220В
Радіометр РД-1С	=>0,001	+ -0,001	Візуальна	Постійна напруга 12В
Термисторний ТПВ-Т(см/с)	0.001-3.5	+ -0,5	Візуальна	Постійна напруга 12В

Найпоширеніші гідрометричні вертушки, як динамічні вимірювачі швидкості, майже не відрізняються за метрологічними характеристиками. Вони мають діапазон вимірювання швидкості від 0,15 до 10,0 м/с і похибку вимірювання приблизно від + -1,0% до 2,0%. Слід зауважити, що зарубіжні вертушки від компаній ОТТ (Німеччина) і Swoffer (США) мають похибку вимірювання +1,0%, що досягається завдяки вищій

якості виготовлення компонентів пристрою. Вихідна інформація про витрату води є усередненою за часом ітерації та виводиться на дисплей пристрою. Гідрометричні вертушки придатні для поточного моніторингу витрат у водотоках, калібрування та повірки водомірних споруд.

Електромагнітні спідометри, хоча за характеристиками перевершують гідрометричні вертушки, ще не здобули широкого поширення. Вони мають діапазон вимірювання швидкості від 0 до 10,0 м/с, тобто здатні вимірювати дуже низькі швидкості. Похибка вимірювання складає приблизно +1,0% до 2,5-4,5%. Найсучаснішим пристроєм у цій категорії є новий струмомір Nautilus S 2000 від ОТТ (Німеччина). Він є високоточним, компактним і легким, простим у використанні і, безсумнівно, в майбутньому замінить гідрометричні вертушки. У таблиці 2 наведені інші типи спідометрів для оцінки технічного рівня та аналізу тенденцій удосконалення сучасних спідометрів вимірювання потоку рідини.

Термометри, електролітичні вимірювачі та радіометричні вимірювачі швидкості, головним чином, використовуються для вимірювання невеликих і дуже низьких витрат води. Похибка вимірювання в основному залежить від частоти калібрування пристрою та умов вимірювання. Очікується, що в короткостроковій перспективі вони не будуть широко застосовуватися. [19]

Динамічний датчик швидкості OMEGA FSW-52 (США) є одним з видів динамічних вимірювачів швидкості, який вбудовується в потік рідини, наприклад, у вигляді стержня або лопатки, і піддається впливу динамічного тиску рідини. Конструкційні особливості цих датчиків дозволяють їх використовувати як стаціонарні вимірювачі швидкості на різних ТОВ МС.

Ультразвукові вимірювачі швидкості, які використовуються в складі ультразвукових витратомірів, визначають середню швидкість потоку через поперечний переріз потоку. Хоча існують експериментальні проекти точкових ультразвукових вимірювачів швидкості потоку, вони ще не набули широкого поширення на масовому ринку.[14]

2.3.2.2 Вимір витрат води

Витрата води, як контрольований гідравлічний параметр, виводиться з основних параметрів - рівня і швидкості течії в жолобі. Для визначення витрати можна використовувати два методи: об'ємний і швидкісний. У реальних умовах експлуатації меліоративних систем застосовна лише остання, в якій основним вимірюваним параметром є середня швидкість потоку в регулюючій частині. Відповідно прилади, які називаються витратомірами, насправді є вимірювачами швидкості.

Згідно з ГОСТ Р 51657.2-2000, існує сім основних методів вимірювання витрати води: гідродинамічний, тахометричний, фізичний, маркувальний, частковий, концентраційний і кореляційний. Кожен з цих методів вимагає наявності двох технічних компонентів: перетворювача потоку і пристрою для вимірювання витрати.

Методи маркування та концентрації використовуються для вимірювання витрати води у відкритих руслах. Вони ґрунтуються на введенні маркерів в потік, таких як поплавці, радіоізотопи або фізіологічні розчини. Для визначення витрати потрібно спостерігати за проходженням маркерів через контрольні шибери або вимірювати концентрацію розчину в початковій і кінцевій точках потоку.

У будь-якому випадку необхідно використовувати комплекс інструментів і обладнання, що ускладнює метод. Тому такі методи в основному використовують для наближеного визначення дебіту або для градування гідрометричних споруд. Похибка визначення витрати коливається від $\pm 0,3\%$ до 10% .

Існують спеціальні витратоміри, які випускаються промисловими підприємствами, а також експериментальні варіанти, які базуються на нетрадиційних методах вимірювання витрати. Однак, їх використання зазвичай вимагає складного обладнання. Більшість виробництва витратомірів спрямована на потреби трубопровідних систем, які працюють в напірному режимі.

Вимірювальні прилади реалізують гідродинамічні, тахометричні, фізичні та часткові методи визначення витрати. Крім того, фізичні методи, на основі яких були

розроблені ультразвукові та електромагнітні витратоміри, такі як Акрон01, Взлет РС, Portalflow 300, Дніпро-7, УФМ-005, ДРК-4, «Райз ПР», «РУС-1», «РУС-1М», «СЛС-700Ф» і багато інших і т. д. Тому завдання організації обліку води для замкнутої напірної зрошувальної мережі не представляє особливої проблеми, оскільки зазначені прилади в повній мірі відповідають вимогам до їх використання.

Характеристики вимірювальних приладів для витрати води в трубопроводах майже однакові: похибка вимірювання становить від $\pm 0,5\%$ до $1,5\%$; вихідна інформація передається у вигляді стандартного аналогового сигналу 0-5; 4-20 мА; 0-20 мА; вимірюється об'ємна витрата. Ультразвукові витратоміри мають кращі характеристики щодо експлуатації, таких як вага витратоміра та споживана потужність джерела живлення.

У відкритій мережі ситуація трохи відрізняється. Кількість доступних витратомірів для відкритих каналів і ванн менша. Проте їх можна рекомендувати для використання на спорудах з "нерухомим руслом" та для регулювання гідротехнічних споруд з вільним ходом води під затвором. [19][8][14]

Таблиця 3 – Існуючі виробники та номенклатура виробленої приладової продукції з водообліку[14]

Виготовник	Ім'я продукції	Основні технічні характеристики
НПП «Сігнур»	Витратомір ЕХО-Р-02 з акустичним інтегратором	Діапазон вимірів від 0,1 до 3м. похибка $\pm 3\%$. Напруження живлення 220В
ЗАО «Взліт»	Витратомір-лічильник ультразвуковий «ВЗЛЕТ РСЛ»	Діапазон вимірів від 0 до 4000мм. Похибка $\pm 3\%$. Напруження живлення 220В

Продовження таблиці 3

США	Витратомір ADFM-2.0	Внутрішній діаметр труби: від 25,4 до 4,57м. Похибка + -2%. Напруження живлення 220В. Швидкість течії до 6,2 м/с
США	Витратомір ультразвуковий переносний ISCO 2150	Діапазон вимірів від 0,01 до 3,05м. Живлення 6,6-16,6V. 7- 12V. Похибка: -0,025-1,52(глибина) - 0,008м/м - більше 1,52 - 0,012м/м
Германія	Електромагнітний витратомір Flo-Mate 200CM	Діапазон швклостей: 0,15 до 2 м/с чи 0,5 до 20 м/с. Похибка: + -2%, 0,015 м/с. Зовнішнє живлення:120В, 1Ватт чи 220В
Sontek(Германія)	Профіліровщик Agronaut	Діапазон швидкостей: 0,15 до 20 м/с; Похибка: + -2%

Зазначена проблема організації автоматизованого технологічного та комерційного вимірювання зрошувальної води на градієнтних водопровідних спорудах, що мають затвори та працюють у затопленому або протинапірному режимах, залишається нерозв'язаною. Цю проблему можна вирішити шляхом комплексного використання ультразвукових, акустичних або поплавкових рівнемірів (див. табл. 1) у поєднанні з сучасними мікропроцесорними пристроями (контролерами). Контролери перетворюють значення рівня води, виміряного цими пристроями, у витрату та витікання відповідно до калібрувальних характеристик кожної конкретної гідротехнічної споруди (ГТС). Побудова таких характеристик виконується засобами визначення швидкості течії води (див. табл. 2) і засобами вимірювання лінійно-кутових параметрів споруд.

Для меліоративних каналів найкориснішими серед сучасного імпортного обладнання є профайлери моделей Argonaut-SL, Argonaut MD і Argonaut SW від німецької фірми Sontek. Вони дозволяють проводити калібрувальні роботи.

Задачу вимірювання лінійно-кутових параметрів у меліоративних системах можна розділити на дві частини. Перша частина включає питання про лінійно-кутову та вертикальну прив'язку водомірів ГТС, які здійснюють облік води на державній геодезичній мережі, визначення справжніх ухилів русел та інших подібних завдань. Топографо-геодезичні методи та засоби вимірювання таких параметрів вже відповідають потребам експлуатаційної служби МС, вони стандартизовані та добре опробовані.

2.4 Розгляд основних параметрів та характеристик сенсорів дебіту води

Вивчення основних параметрів і характеристик датчиків витрати води є необхідним кроком, оскільки дозволяє оцінити їх ефективність і визначити, наскільки вони придатні для конкретних застосувань.

Одним з ключових параметрів датчиків витрати води є їх діапазон вимірювання. Він визначає межі потоку, в межах яких датчик забезпечує точні та надійні вимірювання. Діапазон вимірювання може бути широким або обмеженим залежно від типу датчика та його конструкції.

Ще один важливий параметр - точність вимірювання. Він відображає ступінь збігу виміряних значень з фактичними значеннями витрати. Висока точність має велике значення для багатьох застосувань, де потрібна висока точність контролю та вимірювання.

Ще однією важливою характеристикою є чутливість сенсора. Він вказує на здатність датчика реагувати на зміни навантаження та витрати води. Висока чутливість дозволяє виявити навіть незначні зміни і забезпечує точність вимірювань.

Інші характеристики датчиків потоку включають стійкість до зовнішніх факторів, таких як температура, тиск і вологість, а також здатність спілкуватися та інтегруватися з автоматизованими системами.[8][19]

Розділ III Дворівнева автоматизована система з триконтурним реєстратором швидкості

Дворівнева система водопостачання використовує два рівні керування для задоволення різних потреб. Це означає, що в системі є дві окремі водопровідні труби, кожна з яких має свій рівень, який можна незалежно контролювати та регулювати.

Для забезпечення дворівневої системи використовуються спеціальні пристрої, які контролюють та регулюють потік води на кожен рівень окремо. Це корисно, оскільки дозволяє розподіляти споживання води між різними цілями.

Триконтурний реєстратор швидкості враховує різні шари потоку річки. Для вимірювання витрати в трирівневих шарах течії можна використовувати спеціальні вимірювальні прилади, які дозволяють отримати дані про швидкість руху води і площі кожного шару. Ці дані використовуються для розрахунку витрати води в кожному шарі та загального дубіту річки.

Таке вимірювання дебіту враховує фізичні параметри течії річки, такі як глибина, швидкість води та геометрія русла. Важливо відзначити, що для точного вимірювання витрати в трирівневих шарах річкового стоку може знадобитися спеціальне обладнання та вимірювання в різних місцях русла.

Це вимірювання витрати надає більш детальну інформацію про гідравлічні процеси, що відбуваються в руслі річки, і може бути важливим для планування управління ресурсами та екологічного моніторингу річкових систем.[5]

3.1 Опис структури та принципу роботи системи

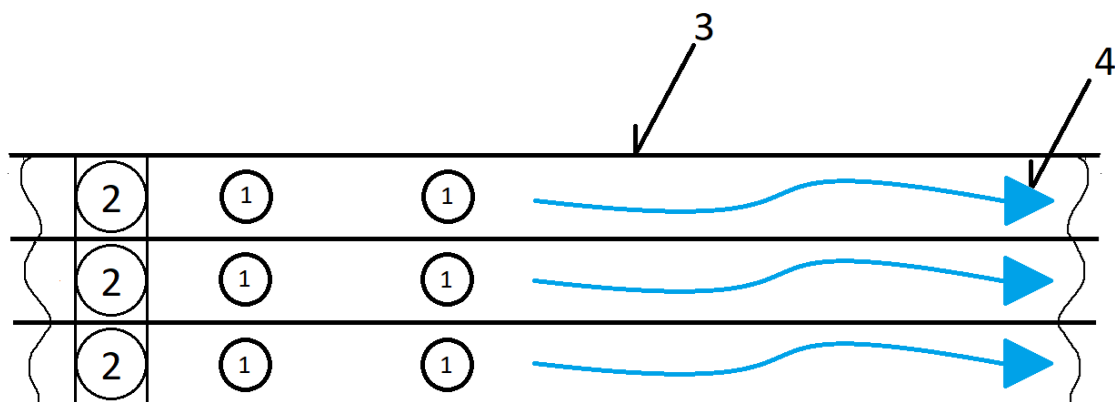


Рисунок 5 – Схема сенсору дебіта води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором швидкості потоку води

1 - ультразвукові датчики(сенсор)

2 - клапан

3 - трехконтурна труба

4 - напрям потоку води

На рис. 5 зображена схема сенсору дебіта води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором швидкості потоку води, де клапан використовується для контролю потоку води в системі в залежності від потреби а ультразвуковий сенсор вимірює дебіт води.

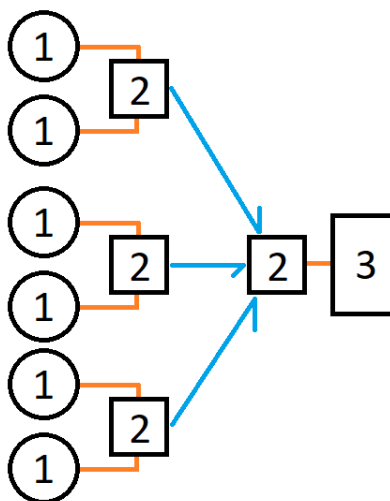


Рисунок 6 – Структурна схема сенсору дебіта води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором швидкості потоку води

- 1 - ультразвукові датчики(сенсор)
- 2 - інтерфейс
- 3 - трехконтурний реєстратор потоку

На рис.6 зображена Структурна схема сенсору дебіта води для дворівневої автоматизованої системи з триконтурним реєстратором швидкості потоку води, ультразвукові сенсори дебіту води вимірюють швидкість потоку і передають дані до інтерфейсу, який передає дані до трехконтурного реєстратору потоку і зберігає їх для кожного контуру.

Ультразвукові сенсори використовуються для виміру дебіту води. Інтерфейс сенсора дебіту води забезпечує передачу даних від ультразвукових датчиків до реєстратора потоку. Клапани в свою чергу потрібні для регулювання потоку води в кожному контурі. Для кожного клапану також потрібен свій інтерфейс.

Розробка дворівневої автоматизованої системи передбачає створення комплексного рішення, що складається з двох рівнів (контроллерний та SCADA системи) та міжрівневий інтерфейс. Кожен рівень має свої ролі та обов'язки, які разом забезпечують оптимальну продуктивність системи в цілому.

На нижньому рівні, який називається першим, здійснюється збір даних, вимірювання та контроль різних параметрів і процесів. У цьому контексті використовуються датчики, датчики та пристрої збору даних, які зчитують інформацію про стан системи чи середовища. Частиною цього рівня є триконтурний реєстратор витрати води, який забезпечує вимірювання витрати води в трьох контурах. Контур являє собою окремий шлях для вимірювання і контролю витрати води. Кожен контур може бути призначений для вимірювання в певній області системи або для конкретного пристрою. Отримані дані передаються на більш високий рівень для подальшого аналізу та обробки.

Міжрівневий інтерфейс забезпечує зв'язок та обмін даними між рівнями. Крім того, дозволяють розподілити функціональність та відповідальність між різними рівнями автоматизованої системи. Вони можуть покращити масштабованість,

гнучкість та керованість системи. Це дозволяє забезпечити збір, обробку та аналіз даних, а також прийняття рішень на основі цих даних.

Другий рівень, який називається рівнем диспетчизації, відповідає за аналіз і обробку зібраних даних, прийняття рішень і управління системою відповідно до заданих параметрів. На цьому рівні програмні алгоритми, логіка управління та інтелектуальні системи використовуються для досягнення оптимальних результатів і управління процесами.

3.2 Вибір компонентів та обладнання для системи

Одним з ефективних датчиків потоку води для першого рівня може бути ультразвуковий датчик із технологією променя часу. Даний тип датчика характеризується високою точністю вимірювань і відсутністю рухомих частин, що значно знижує ризик несправностей. Він здатний вимірювати розрідження або стиснення рідини в різних точках потоку на основі цих даних він розраховує дебіт. Ультразвуковий датчик із технологією тимчасового променя особливо ефективний під час вимірювання великих об'ємів, наприклад потоків у великих каналах або річках.

Враховуючи вимоги до датчика потоку води з часовим променем і реєстратора потоку води з потрібним контуром, для системи буде цікава модель Proline Prosonic Flow 93(вона зображена на рис.7). Цей реєстратор витрати води підтримує технологію тимчасового променя та має можливість вимірювання в трьох контурах. Має високу точність вимірювань, широкий діапазон робочих температур і високу стабільність в різних умовах експлуатації.



Рисунок 7 - (Proline Prosonic Flow 93) Ультразвуковий датчик із технологією тимчасового променя[17]

Для міжрівневого інтерфейсу найкращим варіантом буде «LoRa». Він забезпечує безпроводний зв'язок на великі відстані із низьким споживанням енергії. Для передачі сигналу використовує діапазон радіочастот з низьким рівнем шуму. Використовується метод модуляції з великим частотним діапазоном (Chirp Spread Spectrum), що дозволяє досягти великої дальності передачі сигналу при малій потужності передавача.

Система складається з наступних компонентів:

1. Мікроконтролер для обробки даних, обміну даними та керування іншими компонентами системи.
2. Комунікаційні модулі: Wi-Fi, Bluetooth або Ethernet, LoRa, щоб передавати дані в центральну систему або зовнішній пристрій.
3. Компоненти такі як РК-дисплей або світлодіодні індикатори для візуалізації даних і взаємодії з системою.
4. Джерело живлення: Забезпечте достатнє живлення компонентів системи, можливо - джерело постійного струму або батареї.

3.3 Розробка алгоритмів керування та обробки даних

Алгоритм керування то обробки даних складається з наступних кроків:

1. Збір даних:

- Зчитати виміряні дані витрати води за допомогою ультразвукового датчика.
- Записати ці дані в систему збору даних.

2. Обробка даних:

- Використати алгоритми обробки сигналів для фільтрації та обробки отриманих даних.
- Виконати обчислення для отримання таких параметрів, як середня витрата, максимальна швидкість, часові інтервали тощо.

- Середнє споживання:

$$Q_{\text{сер}} = V/t, (3)$$

де $Q_{\text{сер}}$ - Середня швидкість потоку

V - об'єм

t - час

- Максимальна швидкість:

$$V_{\text{max}} = 4 * Q_{\text{max}} / (\pi * d^2), (4)$$

де V_{max} - максимальна швидкість

d - діаметр труби

Q_{max} - максимальна витрата

- Часові інтервали(Δt) - це періоди, протягом яких вимірюється потік води. Інтервал може дорівнювати часу між послідовними вимірюваннями або може бути заданий явно залежно від потреб системи.

3. Аналіз даних:

- Порівняння отриманих даних з встановленими пороговими значеннями або стандартами.
- Визначення стану системи або відповідні дії на основі результатів аналізу, наприклад виявлення витоків, перевищення швидкості тощо.

4. Обробка:

- Виконати управлінські дії за результатами аналізу.
- Надіслати контрольні сигнали до інших компонентів системи, якщо це необхідно для регулювання потоків води або виконання інших дій.

5. Візуалізація та звітність:

- Візуалізувати дані та результати аналізу за допомогою інтерфейсів, таких як рідкокристалічний дисплей або світлодіодні індикатори.
- Записати дані вимірювань, результати аналізу та відповідні дії управління для подальшого звітування чи аналізу.

Розділ IV Розробка прототипу сенсора дебіта води на основі датчика Холла

4.1 Принципи побудови прототипу



Рисунок 8 – Компоненти сенсору дебіту води з використанням датчику Холла[19]

Датчик витрати води зазвичай складається з пластикового корпусу, водяного ротора та датчика Холла(компоненти зображені на рис.8).

Датчик Холла – це перетворювач, який змінює свою вихідну напругу у відповідь на зміни магнітного поля. Коли вода протікає через ротор, ротор котиться, і його швидкість змінюється разом зі швидкістю потоку. Датчик Холла видає відповідні імпульсні сигнали.

Корпус. Датчик витрати води може мати мідний корпус. Мідь є матеріалом, який має високу тепло- та електропровідність. Він також стійкий до корозії та має тривалий термін служби. Це робить його придатним матеріалом для використання в конструкції датчиків потоку води.

Водяний ротор. Сенсор дебіту води складається з пластикового клапана, через який може проходити вода. Водяний ротор разом з сенсором Холла присутній для виявлення та вимірювання потоку води. Коли вода проходить через клапан, вона обертає ротор. Завдяки цьому можна спостерігати зміну швидкості мотора.

Датчик Холла - це пристрій, який реагує на зміни магнітного поля і змінює свою вихідну напругу. Він названий на честь Едвіна Холла, американського фізика, який відкрив цей ефект у 1879 році. Цей тип датчика використовується для безконтактного перемикачання, позиціонування, вимірювання швидкості та струму. Часто датчики Холла поєднуються з датчиком порогового значення, тому вони діють як перемикач і називаються перемикачами на ефекті Холла. Вони зазвичай зустрічаються в промислових цілях, таких як пневматичний циліндр, але вони також використовуються в побутовому обладнанні. Наприклад, деякі комп'ютерні принтери використовують їх для виявлення відсутності паперу та відкритих кришок. Їх також можна використовувати в комп'ютерних клавіатурах - програмах, які вимагають надвисокої надійності.

Для прототипу сенсора дебіту води я використав:

1. Arduino Uno R3: Arduino Uno є однією з найпоширеніших платформ для розробки проектів, особливо для початківців. Вона має просту інтерфейсну дошку, що дозволяє легко підключати різні компоненти та датчики.
2. LCD Keypad Shield 1602: є зручним додатком до Arduino Uno, оскільки він поєднує LCD-дисплей та клавіатуру в одному модулі. Це дає можливість відображати текстову інформацію на дисплеї та отримувати введення з клавіатури без необхідності підключення окремих компонентів. Це зробить взаємодію з сенсором більш зручною та ефективною.
3. Датчик Холла (F211, 2040Y): Це є поширеним варіантом датчика Холла, який має надійну роботу та досить високу точність. Здатні виявляти навіть невеликі зміни потоку води та надавати стабільний вихідний сигнал.
4. Блок живлення.

Структурна схема прототипу зображена далі на рис.10.

[20][18]

Датчик Холла був демонтований з звичайного комп'ютерного кулера.

З чого складається кулер:



Рисунок 9 - Складові кулера.[17]

- 1 - ротор з крильчаткою
- 2 - статор з обмоткою
- 3 - плата управління
- 4 - постійний магніт у вигляді кільця
- 5 - датчик Холла

Використання цього датчика в комп'ютерних кулерах(складові кулера зображено на рис.9) має кілька причин:

1. Вимірювання швидкості обертання: Датчик Холла може вимірювати швидкість обертання вентилятора в реальному часі. Це дає можливість контролювати оберти вентилятора і забезпечити оптимальне охолодження компонентів комп'ютера. При перевищенні певного порогового значення швидкості обертання, датчик може відправити сигнал до системи управління, щоб збільшити або зменшити швидкість вентилятора в залежності від потреб охолодження.
2. Контроль температури: З його допомогою можна вимірювати температуру повітря, що проходить через комп'ютерний кулер. Це дозволяє контролювати температуру внутрішньої системи комп'ютера і підтримувати її на оптимальному рівні. Якщо температура перевищує задані межі, датчик може спрацювати і сповістити систему про необхідність збільшення швидкості вентилятора для ефективнішого охолодження.
3. Енергоефективність: Завдяки використанню датчика Холла можна досягти енергоефективного управління швидкістю обертання вентилятора. Коли навантаження на систему менше, датчик може знижувати швидкість вентилятора,

що дозволяє знизити споживання енергії та рівень шуму. У той же час, при збільшенні навантаження на систему, датчик може автоматично підвищити швидкість вентилятора для забезпечення необхідного охолодження.

4.2 Структурна та принципова електрична схема мікросистеми визначення дебіту води (МВДВ)

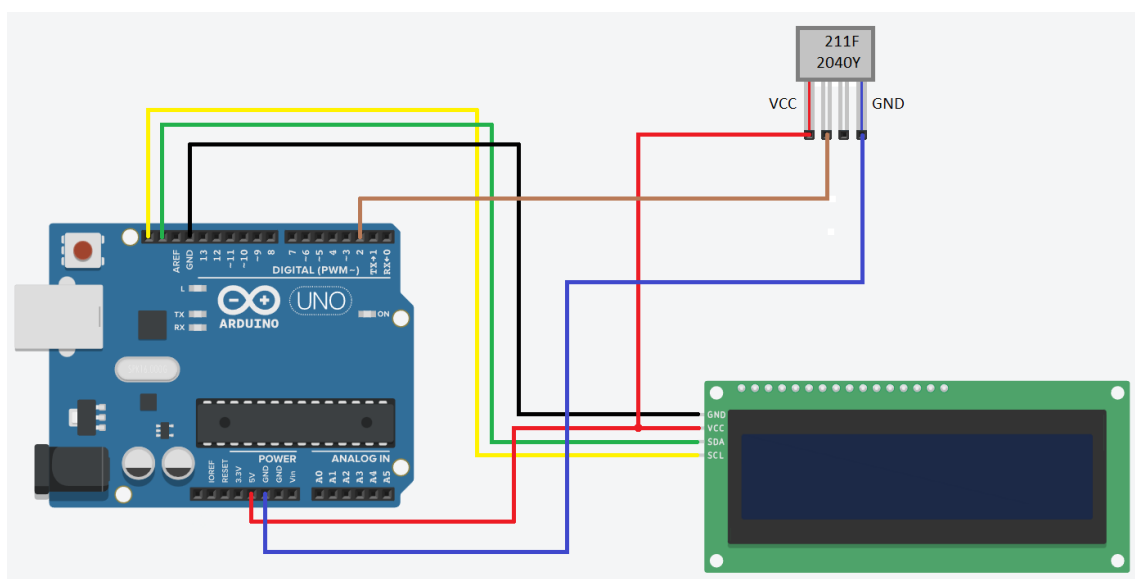


Рисунок 10 – Структурна схема МВДВ

Принципова схема МВДВ зображена на рис. Б.1

4.3 Програмне забезпечення для функціонування МВДВ

Цей код призначений для вимірювання дебіту води за допомогою датчика Холла та відображення результатів на LCD-дисплеї. Він використовує преривання для точного підрахунку пульсів, отриманих від датчика. Залежно від стану кнопки скидання та кнопки на LCD-дисплеї, він перемикається між відображенням поточного дебіту та загального об'єму води.

Ось опис основних етапів та функцій коду:

1. Підключення бібліотеки та визначення пінів. У першому рядку підключається бібліотека LiquidCrystal, яка дозволяє керувати LCD-дисплеєм. Також визначаються піни для датчика Холла та кнопки скидання.
2. В коді визначаються змінні для підрахунку дебіту води, такі як кількість пульсів, час, потік води тощо.
3. Функція `setup()` виконується один раз при запуску пристрою. У ній встановлюються налаштування для LCD-дисплея, пінів вводу/виводу та переривань.
4. Головний цикл у функції `loop()`, який виконується постійно. В циклі перевіряється стан кнопки скидання, рахується дебіт води, відображається на LCD-дисплеї, а також перевіряється стан кнопки для зміни режиму відображення (`FLOW_RATE` (який показаний на рис.11) або `TOTAL_VOLUME`(який показаний на рис.12)).
5. Функція `pulseCounter()` викликається при кожному спрацюванні переривання від датчика Холла. Вона збільшує лічильник пульсів.
6. Функція `resetFlowData()` скидає всі дані дебіту води, зануляє змінні та очищає LCD-дисплей.

І в результаті на екрані датчика отримали наступні результати:

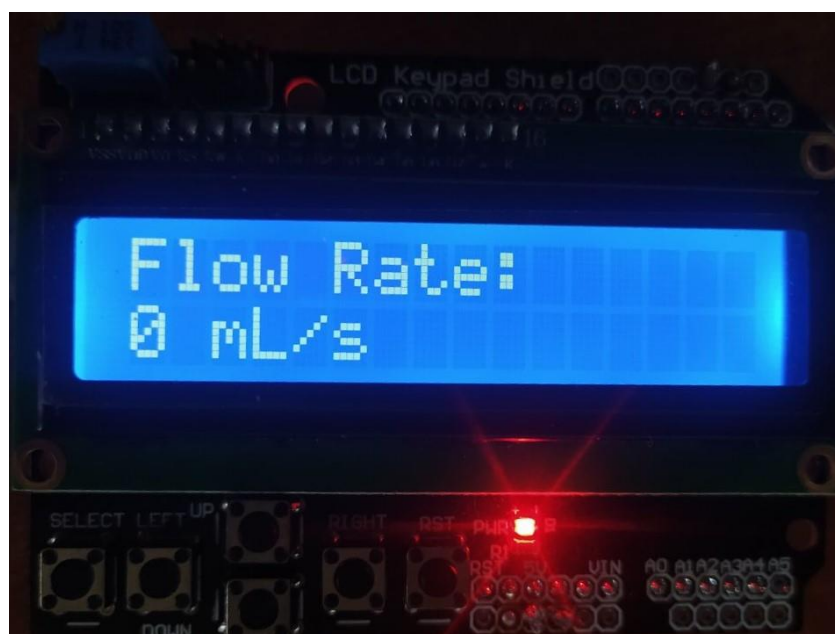


Рисунок 11 - Вигляд візуального інтерфейсу в режимі визначення дебіту води



Рисунок 12 - Вигляд візуального інтерфейсу в режимі визначення об'єму води

4.4 Експериментальне дослідження МВДВ

Для того щоб визначити дебіт води з джерела, у моєму випадку це кран, я використав лічильник NOVATOR ЛК-15Г з класом точності «2». Клас точності «2» означає, що похибка складає 2% [18], оскільки це механічний лічильник і він вимірює лише об'єм, я почекав 5 хв з відчиненим краном і отримав 59 куб що еквівалентно 59 л води. З формули

$$V=vt, (5)$$

де V – об'єм

v – дебіт

t - час

маємо $v=V/t$, рахуємо і отримуємо 197 мл/с.

Оскільки прототип сенсору дебіту води показує як об'єм так і дебіт підключаємо їх послідовно і отримуємо наступні показники:

Flow Rate: 195 mL/s

Total Volume: 58500 mL

Звідси ми можемо дізнатися похибку сенсору.

Використовуємо зіставлення і дізнаємося, що точність сенсору дебіту води = 98,98%.

Оскільки ми знаємо точність, то похибку знайти не проблема. $\delta(\text{похибка})=1,02\%$.

Висновки

1. Визначено функціональну схему прототипу датчика дебіту води на основі ефекту Холла з використанням таких компонентів, як Arduino Uno R3 і LCD Keypad Shield 1602 та самого датчика Холла(FS211F).

2. Прототип протестовано та встановлено продуктивність точність у вимірюванні невеликих змін потоку води.

3. Запропоновано та розроблено триконтурний реєстратор витрати води для збору даних про витрату води в трьох окремих каналах вимірювання і якій можливо інтегрувати до SCADA системи

4. Розроблені алгоритми управління та обробки даних для роботи сенсора дебіта води у складі мікросистеми

Алгоритм збору даних передбачає запуск системи та отримання вимірювань витрати води від ультразвукового датчика. Дані з кожного каналу вимірювання обробляються та зберігаються для подальшого використання.

Алгоритм обробки даних включає аналіз отриманих даних для визначення середньої витрати води, максимальної витрати та інших параметрів. Виконуються необхідні обчислення та перетворення даних для подальшого використання.

Систему забезпечено засобами візуалізації та звітності, що дозволяє користувачеві відображати дані на моніторі або мобільному додатку.

Дані про витрати води та інші параметри зберігаються для подальшого аналізу та звітності.

5. Розроблений прототип датчика потоку води на основі датчика Холла разом з компонентами Arduino Uno R3, LCD Keypad Shield 1602, FS211F може бути рекомендований до застосування в різних додатках, де необхідно вимірювати і контролювати дебіт води при виконанні гідрологічних досліджень.

Дослідження має важливе практичне значення для мереж пунктів гідрологічних спостережень: відкривають нові можливості для ефективного управління та оптимального використання водних ресурсів.

Перелік посилань

1. Вимірники швидкості течії. *ДЕМЕТРА-5*.
URL: [http://www.demetra5.kiev.ua/ru/catalog/izmeritely_skorosty_techeniya#:~:text=Взвешенные%20в%20воде%20частицы%20\(планктон,%20пузырьки%20воздуха%20и,зона%20фильтрации,%20а%20величина%20самого%20смещения%20пропорциональна%20скорости%20потока](http://www.demetra5.kiev.ua/ru/catalog/izmeritely_skorosty_techeniya#:~:text=Взвешенные%20в%20воде%20частицы%20(планктон,%20пузырьки%20воздуха%20и,зона%20фильтрации,%20а%20величина%20самого%20смещения%20пропорциональна%20скорости%20потока) (дата звернення: 19.04.2023).
2. Біланюк В. І. Практикум із загальної гідрології. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Ів. Франка, 2004. 38 с.
3. Шадура В., Кравченко Н. Водопостачання та водовідведення : навч. посіб. 2-ге вид. Рівне : Шадура В.О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення, 2018. 344 с.
4. Як влаштований комп'ютерний кулер? | Мої захоплюючі та небезпечні експерименти. *Мої захоплюючі та небезпечні експерименти | Мои увлекательные и опасные эксперименты*. URL: <https://acdc.foxylab.com/node/15> (дата звернення: 23.04.2023).
5. КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ / А. Толбатов та ін. Суми : Сум. держ. ун-т, 2012. 87 с.
6. Лічильники ЛК | NOVATOR. NOVATOR. URL: https://www.novator-tm.com/pages/lk_page.php (дата звернення: 24.04.2023).
7. Масумов Р. Методи вимірювання витрати води на річках та каналах, у напірних трубопроводах насосних станцій та зрошувальних систем. 11-те вид. Ташкент : Б-ка водника, 2015. 85 с.
8. Масумов Р. Сучасні засоби для вимірювання швидкості. *emirsaba*. URL: <https://emirsaba.org/r-r-masumov-metodi-izmereniya-rashoda-vodi.html?page=28> (дата звернення: 09.06.2023).
9. Невідомо. ЛЕКЦІЯ №3 Характеристика руху рідики. *Tsatu education*. URL: <http://tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lekciya-3-harakterystyka-ruhu-ridyn.pdf> (дата звернення: 20.04.2023).

10. Ультразвуковий датчик для вимірювання рівня води - SILVER AUTOMATION INSTRUMENTS LTD. SILVER AUTOMATION INSTRUMENTS LTD. URL: <https://uk.silverinstruments.com/ultrasonic-sensor-for-water-level-measurement.html> (дата звернення: 30.04.2023).
11. Ультразвукові датчики: Як працює ця технологія. *ifm - automation made in Germany*. URL: <http://www.ifm.com/ua/uk/shared/technologies/ультразвуковые-датчики/багато-переваг-мало-недоліків-як-працює-ультразвукова-технологія> (дата звернення: 24.05.2023).
12. Учасники проектів Вікімедіа. Дебіт – вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Дебіт> (дата звернення: 18.04.2023).
13. Учасники проектів Вікімедіа. Ультразвуковий витратомір – Вікіпедія. *Вікіпедія*. 2011. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковий_витратомір (дата звернення: 30.04.2023).
14. Оліх Я.М, Беляєв О.Є, Лепіх Я.І Фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори. *інституційний репозитарій Одеської І.І. Національний університет імені Мечникова*: 0.18524/1815-7459.2021.4.248176. Одеса, 2021. С. 7.
15. FS211F Datasheet - 2 PHASE DC MOTOR DRIVE IC. *Hoja de datos (Datasheet PDF) de componentes electronicos - DataSheet.es*. URL: <http://www.datasheet.es/PDF/826911/FS211F-pdf.html> (дата звернення: 01.05.2023).
16. J. LaNasa P., E L. U. Fluid Flow Measurement. 3rd ed. Оксфорд: Butterworth-Heinemann, 2014. 296 p.
17. Prosonic flow clamp on 93P. *Flow, level, liquid analysis, optical analysis, pressure, temperature measurement, software and system products | Endress+Hauser*. URL: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/ultrasonic-flowmeter-prosonic-flow-93p?t.tabId=product-overview> (дата звернення: 28.05.2023).

18. Uno Плати Ардуіно. *Ардуіно в Україні.*

URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата звернення: 24.04.2023).

19. Water flow sensor | seeed studio wiki. *Seeed Studio Wiki.*

URL: <https://wiki.seeedstudio.com/Water-Flow-Sensor/> (дата звернення: 26.05.2023).

20. YF-S201- water flow measurement sensor. *Components101.*

URL: <https://components101.com/sensors/yf-s201-water-flow-measurement-sensor> (дата звернення: 02.05.2023).

Додаток А Код для прототипу сенсора дебіта води на основі датчика Холла

```
#include <LiquidCrystal.h>
// Піни для датчика Холла
const int hallSensorPin = 3;
// Пін для кнопки скидання
const int resetButtonPin = A0;
bool resetButtonPressed = false;
// Змінні для підрахунку дебіту води
volatile unsigned int pulses;
unsigned long previousMillis;
unsigned int flowRate;
unsigned int flowMilliLitres;
unsigned long totalMilliLitres;
unsigned int maxFlowRate;
unsigned long maxFlowVolume;
// Константи до розрахунку дебіту
const float calibrationFactor = 4.5;
const unsigned int flowTimeout = 1000;
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // Піни підключення LCD Keypad Shield
enum ScreenState {
    FLOW_RATE,
    TOTAL_VOLUME
};
ScreenState currentScreenState = FLOW_RATE;
void setup() {
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.print("Water Flow Meter");
```

```

pinMode(hallSensorPin, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(hallSensorPin), pulseCounter, FALLING);

pinMode(resetButtonPin, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (digitalRead(resetButtonPin) == LOW) {
        if (!resetButtonPressed) {
            resetFlowData();
            resetButtonPressed = true;
        }
    } else {
        resetButtonPressed = false;
    }

    if (currentMillis - previousMillis >= flowTimeout) {
        detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(hallSensorPin));
        flowRate = pulses/(flowTimeout/1000.0);
        flowMilliLitres = (flowRate / calibrationFactor) * 1000;
        totalMilliLitres += flowMilliLitres;
        if (flowRate > maxFlowRate) {
            maxFlowRate = flowRate;
            maxFlowVolume = totalMilliLitres;
        }
        pulses = 0;
        lcd.clear();
        switch (currentScreenState) {
            case FLOW_RATE:
                lcd.setCursor(0, 0);

```

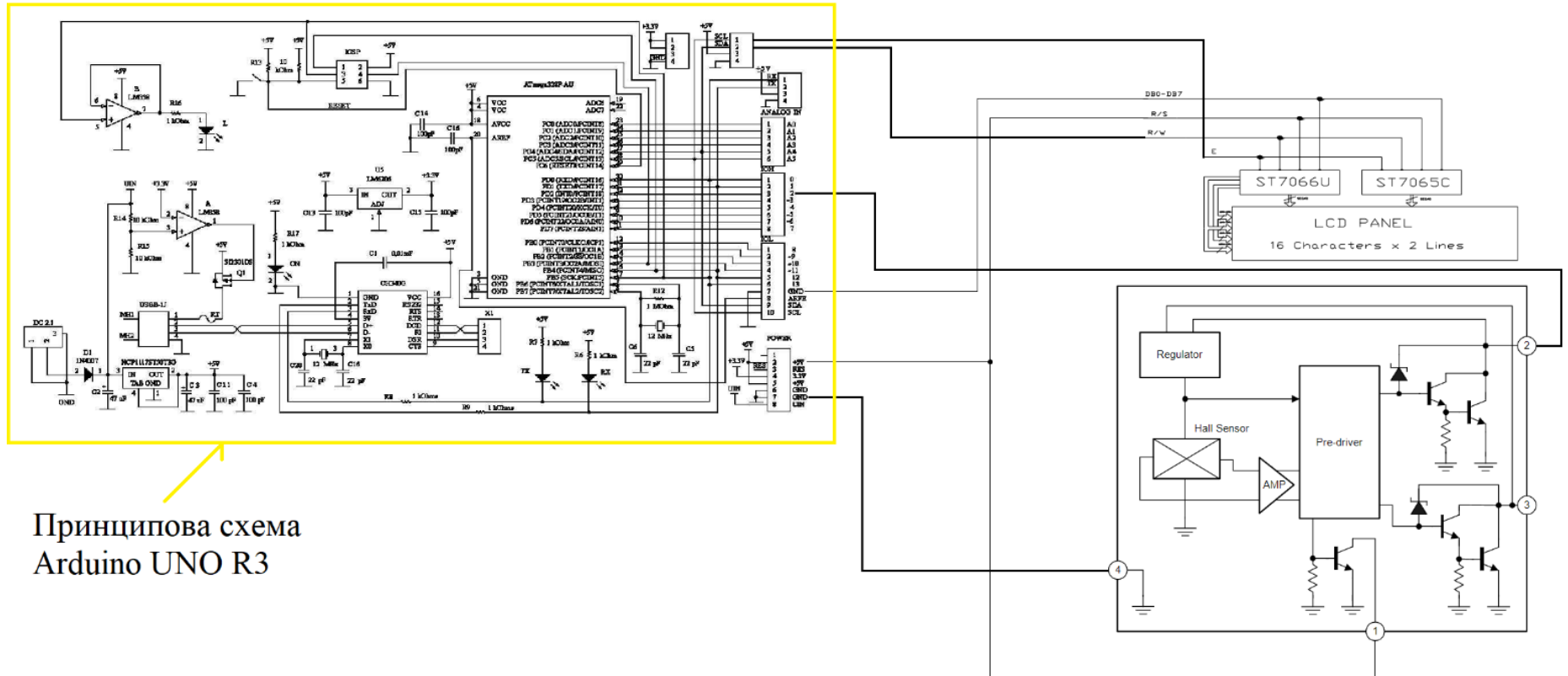
```

    lcd.print("Flow Rate:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(flowRate);
    lcd.print("mL/s");
    break;
case TOTAL_VOLUME:
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Total Volume:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(totalMilliLitres);
    lcd.print("mL");
    break;
}
previousMillis = currentMillis;
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(hallSensorPin), pulseCounter, FALLING);
}
int buttonValue = analogRead(resetButtonPin);
if (buttonValue < 100) { // Підлаштувати цей пороговий рівень залежно від вашого
конкретного екрану Keypad Shield
    currentScreenState = (currentScreenState == FLOW_RATE) ? TOTAL_VOLUME :
FLOW_RATE;
    delay(200); // Додати невелику затримку, щоб уникнути випадкового подвійного
натискання кнопки
}
}
void pulseCounter() {
    pulses++;
}
void resetFlowData() {

```

```
pulses = 0;
flowRate = 0;
flowMilliLitres = 0;
totalMilliLitres = 0;
maxFlowRate = 0;
maxFlowVolume = 0;
lcd.clear();
lcd.print("Water Flow Meter");
}
```

Додаток Б Принципова схема МВДВ



Принципова схема
Arduino UNO R3

Рисунок Б.1 - Принципова схема МВДВ

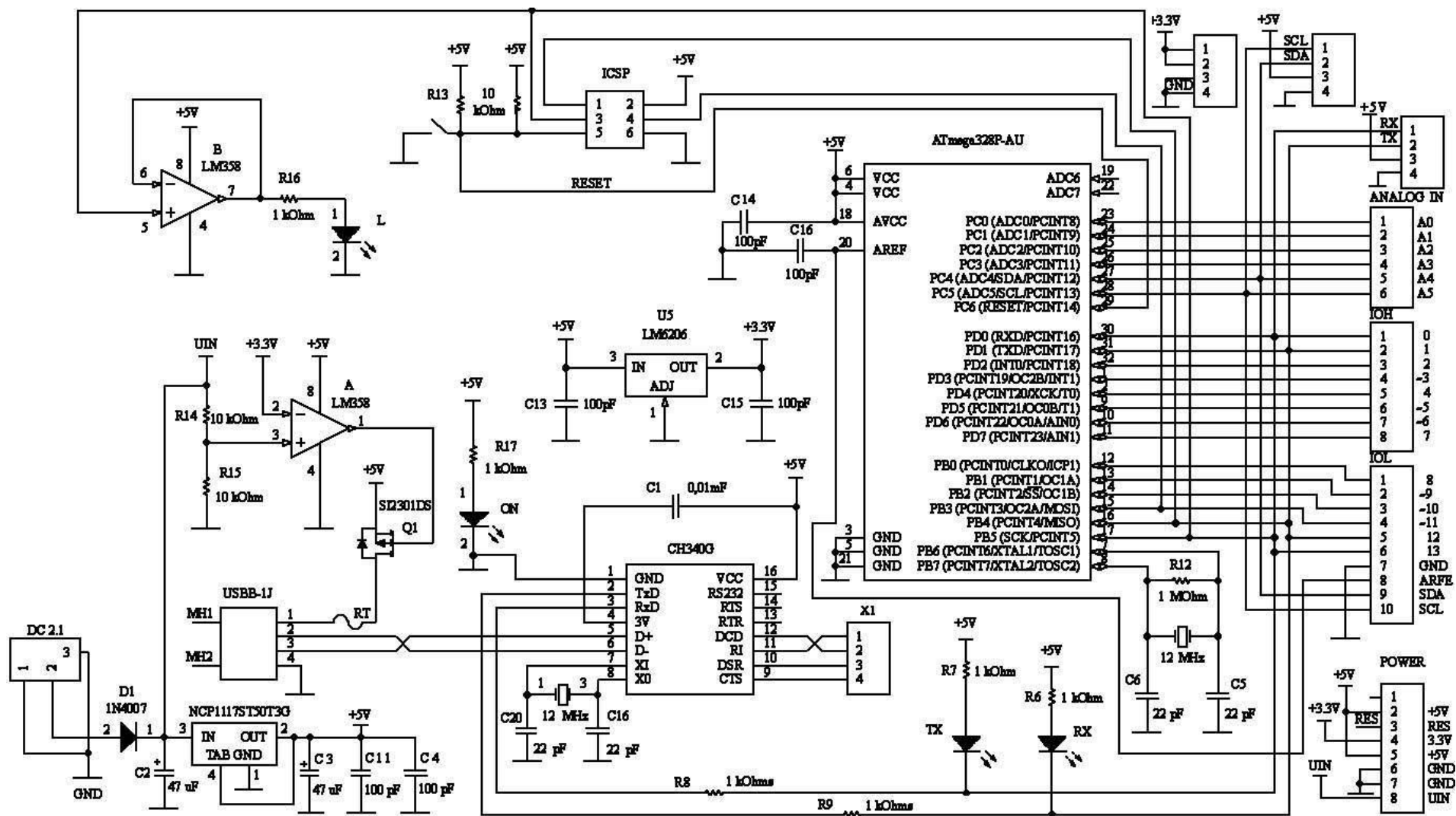


Рисунок Б.2 - Принципова схема Arduino UNO R3[18]

