

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему:

**«АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ  
ЗАПОВНЕННЯМ РЕЗЕРВУАРІВ»**

Виконав: здобувач групи АКТ-41  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

\_\_\_\_\_ Кушнір М. Я.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_ Пташник В. В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти  
 Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор, Тригуба А. М.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ” 202 року

**З А В Д А Н Н Я  
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Кушнір Максим Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматична система контролю та керування заповненням резервуарів»

керівник роботи к. т. н., доцент., Пташник В. В.

(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП від 27.11.2023 року №641/к-с

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: характеристика промислових систем подачі та накопичення рідин; паспорти та технічна документація до комерційних мікропроцесорних систем Siemens, Bosh, NI тощо; науково-технічна і довідкова література; технічні вимоги до систем автоматичного контролю заповнення резервуарів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Методи та технічні рішення контролю заповнення резервуарів

2. Вибір засобів контролю та керування заповненням резервуарів

3. Реалізація системи автоматичного контролю рівня рідини у резервуарі

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

## 6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	<i>Пташник В. В., к.т.н., доцент</i>			
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	<i>Складання інженерної характеристики об'єкту проектування</i>	<i>28.11.2023 – 31.12.2023</i>	
2	<i>Вибір принципів, методів та засобів контролю наповнення резервуарів з рідиною</i>	<i>01.01.2024 – 28.02.2024</i>	
3	<i>Проектування системи контролю та керування заповненням резервуару</i>	<i>01.03.2024 – 30.04.2024</i>	
4	<i>Розгляд питань з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях</i>	<i>01.05.2024 – 14.05.2024</i>	
5	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційного матеріалу</i>	<i>15.05.2024 – 31.05.2024</i>	
6	<i>Завершення роботи в цілому. Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи</i>	<i>01.06.2024 – 10.06.2024</i>	

Здобувач

\_\_\_\_\_ *Кушнір М. Я.*  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ *Пташник В. В.*  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

## УДК 681.521 / 681.518

Автоматична система контролю та керування заповненням резервуарів.  
Кушнір М. Я. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024.

Кваліфікаційна робота: 44 сторінок текстової частини, 22 рисунки, 13 таблиць, 17 джерел літератури.

*Мета кваліфікаційної роботи* полягає у створенні ефективної, надійної та економічно доцільної системи контролю та керування заповненням резервуарів.

*Об'єктом дослідження* є процеси контролю та керування заповненням резервуарів.

*Предмет дослідження* вивчає методи і засоби автоматизації контролю та керування заповненням резервуарів, включаючи використання датчиків рівня, алгоритмів регулювання подачі рідини або сипучих матеріалів, та програмного забезпечення для моніторингу і управління.

У роботі проаналізовано предметну область, визначено методи та технічні рішення контролю заповнення резервуарів. Розглянуто існуючі аналоги та визначено функціональні можливості датчиків. Обґрунтовано особливості реалізації та практичного використання методів вимірювання рівня води. Проведено аналіз існуючих методів і технологій контролю рівня в резервуарах, розглянуто переваги і недоліки різних типів датчиків і систем керування. Розроблено алгоритми керування, що дозволять автоматично регулювати подачу рідини на основі отриманих даних. Виконано моделювання розробленої системи, що дозволяє оцінити її ефективність і виявити напрями подальшого розвитку.

**Ключові слова:** автоматизація, лазерний промінь, заповнення резервуарів.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 МЕТОДИ ТА ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗАПОВНЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ.....	7
1.1 Основні параметри рідких середовищ .....	7
1.2 Класифікація датчиків рівня рідини.....	8
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЗАПОВНЕННЯМ РЕЗЕРВУАРІВ.....	22
2.1 Технічні вимоги.....	22
2.2 Порівняльна характеристика методів вимірювання рівня рідини.....	25
2.3 Характеристика контролю рівня рідини .....	26
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ У РЕЗЕРВУАРІ .....	28
3.1 Основні принципові вузли та структурна схема виробу.....	28
3.2 Електрична схема виробу .....	33
3.3 Моделювання друкованої плати.....	34
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	36
4.1 Характеристики систем контролю заповнення рідини в резервуарах технічного призначення.....	36
4.1.1 Характеристики компонентів виробу.....	36
4.1.2 Характер взаємодії виробу в системі «людина-об'єкт» .....	37
4.2 Оцінка потенційних небезпек та заходи з їх усунення .....	38
ВИСНОВКИ .....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	43

## ВСТУП

В сучасних умовах розвитку промисловості та сільського господарства значну увагу приділяють автоматизації процесів виробництва і зберігання продуктів. Автоматизація дозволяє підвищити ефективність, точність і безпеку технологічних процесів, знизити витрати на обслуговування та мінімізувати людський фактор. Однією з важливих складових автоматизації є системи контролю та керування заповненням резервуарів. Резервуари використовуються у різних галузях, таких як нафтова, хімічна, харчова промисловість, а також у сільському господарстві для зберігання рідин і сипучих матеріалів. Важливим аспектом функціонування таких систем є забезпечення точного контролю за рівнем заповнення резервуарів, що запобігає переповненню або недозаповненню, мінімізує втрати матеріалів та підвищує безпеку експлуатації.

Сучасні системи контролю та керування заповненням резервуарів базуються на використанні різних датчиків і автоматизованих пристроїв. Датчики рівня, тиску, температури та інших параметрів забезпечують збір даних, які аналізуються і використовуються для керування процесом заповнення. Інтелектуальні системи керування дозволяють автоматично регулювати подачу матеріалів, забезпечуючи оптимальні умови для їх зберігання.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та впровадженню системи контролю та керування заповненням резервуарів. Мета дослідження полягає у створенні ефективною, надійною та економічно доцільною системи контролю та керування заповненням резервуарів.

У рамках роботи проведено аналіз існуючих методів і технологій контролю рівня в резервуарах, розглянуто переваги і недоліки різних типів датчиків і систем керування. Особлива увага буде приділена розробці алгоритмів керування, що дозволять автоматично регулювати подачу рідини на основі отриманих даних. Також буде виконано моделювання розробленої системи, що дозволить оцінити її ефективність і виявити напрями подальшого розвитку.

## РОЗДІЛ 1 МЕТОДИ ТА ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗАПОВНЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ

### 1.1 Основні параметри рідких середовищ

Основними параметрами контролю рідкого середовища є:

- рівень рідини  $H$  [м] продукту в резервуарі, що відображає просторове положення межі розділу між газом і рідиною;
  - об'єм  $V$  [м<sup>3</sup>], який представляє кількість простору, зайнятого рідиною;
  - маса  $M$  [кг], що характеризує матеріаломісткість виробу
- Об'єм рідини можна представити як функцію рівня рідини за допомогою:

$$V = f(H), \quad (1.1)$$

де  $f(H)$  – градуйована (або калібрувальна) характеристика.

Градувальні характеристики визначають індивідуально для конкретного резервуара, сам процес називається таруванням.

Зв'язок між масою речовини та її об'ємом за певної температури можна виразити як:

$$M = \rho_t V_t, \quad (1.2)$$

де  $\rho_t$  – густина за температури  $t$ , кг/м<sup>3</sup>;  $V_t$  – об'єм за температури  $t$ , м<sup>3</sup>.

Густина  $\rho$  є основним параметром рідкого середовища і безпосередньо пов'язана з багатьма іншими параметрами. Її можна виражати в абсолютній і відносній формах. Абсолютна величина визначається масою, зосередженою в одиниці об'єму:

$$\rho = \frac{M}{V}. \quad (1.3)$$

На основі попередніх виразів густину, масу, об'єм і рівень рідини можна пов'язати однією формулою, що діє за будь-якої температури:

$$M = \rho V = \rho f(H). \quad (1.4)$$

Ця формула показує, що якщо відома функція класифікації то самі класи можна визначити на основі густини та маси.

Крім того, електродинамічні властивості рідини визначаються питомою провідністю  $\sigma$ , діелектричною проникністю  $\epsilon$  та магнітною проникністю  $\mu$ . Всі ці параметри взаємопов'язані і залежать від температури і частоти [3]. Так значення діелектричної проникності  $\epsilon$  залежить від частоти, на якій проводяться вимірювання. Для рідких середовищ воно коливається від 1,8 до 120.

## 1.2 Класифікація датчиків рівня рідини

Щоб гарантувати, що рівень рідини залишається незмінним, система повинна бути оснащена сенсорними елементами, чутливими до змін рівня рідини або інших параметрів, які впливають на рівень рідини. Класифікація елементів показана на рисунку 1.1 Вони поділяються на контактні – передбачають безпосередній контакт з рідиною, і безконтактні – вимірювання на певній відстані від об'єкта. [5, 9].

Контактні витратоміри мають широкий спектр застосування, вони дешеві, встановлюються практично в будь-який резервуар, прості в монтажі та конструкції. До недоліків контактних датчиків можна віднести взаємодію з рідким середовищем, якщо середовище є хімічно агресивним або рідина дуже в'язка, частинки можуть прилипати до чутливого елемента, викликаючи часткове пошкодження датчика [4].



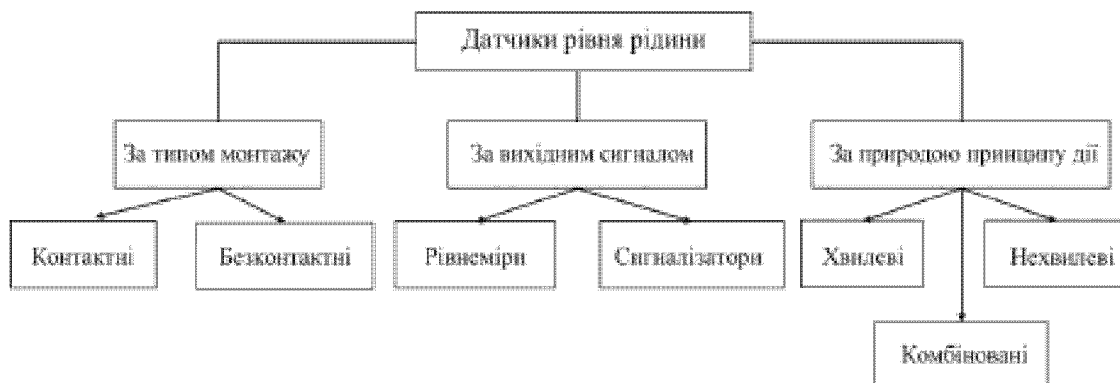


Рисунок 1.1 – Класифікація датчиків рівня рідини

Перевагами безконтактного методу є гігієнічність, простота догляду, простий захист від корозійних речовин, відсутність прилипання. До недоліків можна віднести високу ціну, обмеженість застосування та обмеженість монтажу [2, 4].

Такі датчики також можна класифікувати залежно від тривалості роботи:

- рівнемір – це датчик, який використовується для постійного вимірювання рівня рідини. Його робота заснована на визначених фізичних принципах, електронний блок рівня вимірювача перетворює значення рівня в пропорційний аналоговий сигнал або цифровий код;

- сигналізатор – це датчик, який виявляє спорожнення/переповнення резервуарів для рідини. Цей тип датчика має дискретний (релейний або транзисторний) вихідний сигнал [1]. Часто ці два типи використовуються разом для покращення моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій.

Методи вимірювання рівня рідини також поділяються на хвильовий метод, безхвильовий метод і комбінований метод. Хвильові методи використовують ефекти, пов'язані з поширенням електромагнітних або звукових хвиль у рідинах. У нефлуктуаційних методах використовуються інші принципи вимірювання рівня рідини, засновані на змінах ємності структурних конденсаторів, тиску стовпа рідини, архімедової сили тощо. Комбінований метод поєднує перші два способи, наприклад, у поплавковому магнітострикційному методі рівень рідини визначають за положенням поплавка, що коливається під дією механічних хвиль у звуковій трубці.

Розглянемо конструкцію та принцип роботи найпоширеніших датчиків рівня рідини.

### *Хвилеводні радары*

Хвилеводний радар (GWR) іноді також називають радаром із часовим розділенням (TDR), мікроімпульсним радаром (MIR) або гнучким радаром [11].

Хвилеводний радар встановлюється у верхній частині резервуара або всередині резервуара, а зонд зазвичай занурюється на всю глибину резервуара (рис. 1.2). Радар генерує мікрохвильові імпульси малої потужності, які поширюються по всій довжині зонда зі швидкістю світла. У точці контакту між радіолокаційним зондом і рідиною (межа розділу повітря/рідина) більша частина мікрохвильової енергії відбивається і повертається вздовж зонда в протилежному напрямку до приймача.

Датчик вимірює часову затримку між передачею та прийомом переданого та відбитого сигналів, а потім вбудований мікропроцесор обчислює відстань до поверхні вимірюваного середовища за такою формулою:

$$L = \frac{ct}{2}, \quad (1.5)$$

де  $c$  – швидкість світла,  $t$  – час затримки.

Якщо відстань до контрольної точки (зазвичай дна резервуара або камери) введена під час налаштування вимірювача рівня, мікропроцесор розраховує товщину шару рідини.

Оскільки частина енергії мікрохвильового імпульсу продовжує поширюватися вздовж зонда, якщо в резервуарі є дві рідини (нижча та вища діелектрична проникність), радар може записати другий ехо-сигнал, відбитий від поверхні розділу двох рідин.

Перевагами хвилеводного радару (GWR) є забезпечення одночасного вимірювання рівня середовища (рідина/рідина) та рівня розділу, забезпечуючи таким чином надійні вимірювання в різноманітних технічних процесах. Хвилеводні радары можуть безпосередньо вимірювати відстані до поверхонь в технічних

середовищах, що визначає можливість їх використання на різних рідинах і шламах. Найважливіша перевага цього типу радара полягає в тому, що він не вимагає корекції налаштувань при зміні густини, діелектричної провідності або провідності рідини. На точність радіолокаційних вимірювань не впливають різниці в робочому тиску, температура та умовах парогазового простору над рідиною. Найкраще те, що хвилеводний радар не має рухомих частин, що зводить до мінімуму потреби в обслуговуванні.

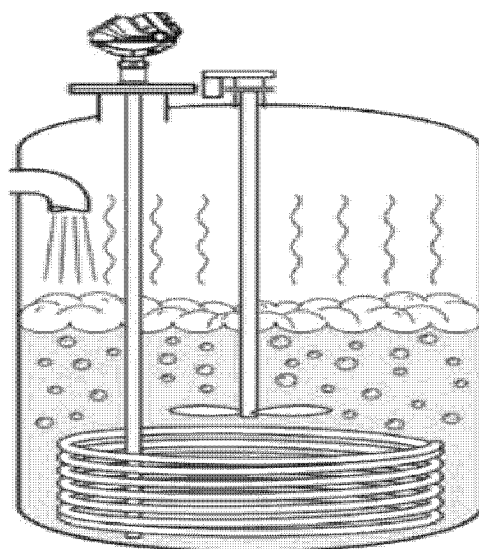


Рисунок 1.2 – Хвилеводний радар

Хоча хвилеводні радари можуть працювати в різних умовах, їх слід ретельно вибирати, виходячи з умов конкретного процесу. Наприклад, кожен тип зонда вибирається виходячи з типу середовища, діапазону вимірювання та обмежень щодо встановлення. Під час роботи зонд не повинен контактувати безпосередньо з металевими предметами (за винятком коаксіальних зондів), інакше виникнуть перешкоди та помилкові відбиття. Якщо середовище, що вимірюється, має тенденцію до прилипання, слід використовувати лише один зонд.

#### *Безконтактні радари*

Принцип вимірювання безконтактного радара (рис. 1.3) такий же, як і хвилеводного радара. Безконтактний радар посиляє вимірювальний сигнал через парогазовий простір, який відбивається від поверхні вимірюваного середовища і

повертається в приймач. Оскільки вимірювання відбувається безконтактно, а компоненти рівнеміра практично не схильні до корозії, цей тип рівнеміра ідеально підходить для вимірювання в'язких середовищ. Як правило рівнеміри, що використовують безконтактну технологію застосовують в резервуарах з мішалкою. При необхідності можна використовувати запірний кран, щоб ізолювати радарний рівнемір. Більшість виробників пропонують безконтактні радари з діапазоном вимірювання від 1 до 30 або 40 метрів [10].

Робоча частота безконтактного радара впливає на його характеристики більше, ніж використовувана технологія вимірювання. Зі зменшенням робочої частоти радар стає менш чутливим до парів, піни та забруднень антени, а вищі частоти допомагають радіаційному променю бути більш сфокусованим, мінімізуючи вплив на сопла, стіни та процеси вимірювання об'єктів. Ширина променю обернено пропорційна розміру антени, що означає, що за тієї самої робочої частоти ширина променю вимірювання зменшується зі збільшенням розміру антени.

Загалом до переваг хвилеводних радарів можна віднести те, що вони безконтактні, але вони не можуть вимірювати рівень на межі між двома середовищами (рідина/рідина). Однак безконтактні методи можуть працювати з корозійно активними речовинами.

На вимірювання впливають властивості та стан поверхні середовища, наприклад, при використанні рідини з низькою діелектричною проникністю більша частина енергії мікрохвильового імпульсу поглинається рідиною, і лише невелика частина поглинається рідиною. відбивається назад.

При наявності турбулентності на поверхні середовища, наприклад внаслідок перемішування, змішування або розливу продукту, значна частина сигналу розсіюється в просторі резервуара. Тому поєднання низької діелектричної проникності рідини та турбулентності може значно знизити інтенсивність відбитого сигналу, що надходить на безконтактний радіолокаційний приймач. Цю проблему можна подолати за допомогою віддалених камер для зменшення впливу турбулентності та підвищення стабільності вимірювань.

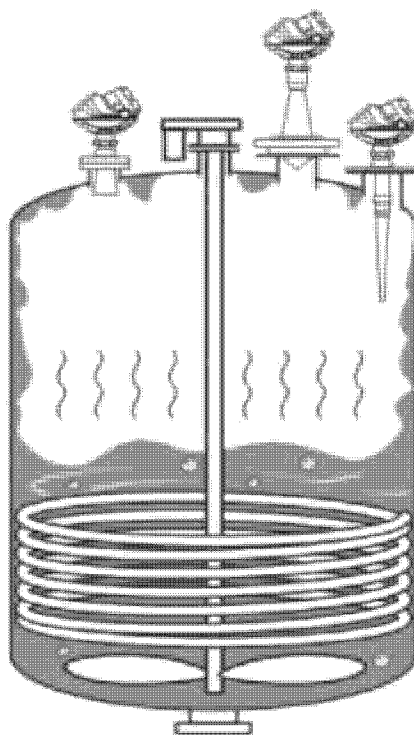


Рисунок 1.3 – Безконтактний радар з антенами різних типів

#### *Ультразвукові рівнеміри*

Ультразвуковий рівнемір встановлений у верхній частині бака (рис. 1.4). Під час роботи вимірювач рівня рідини посилає ультразвукові імпульси вниз до середовища, і рівень рідини в середовищі потрібно виміряти. Ультразвукові імпульси поширюються в просторі зі швидкістю звуку. Відбиваючись від поверхні рідини, імпульс повертається до приймача рівня. Електроніка вимірює затримку між часом випромінювання відбитого імпульсу та часом його отримання. Далі вбудований мікропроцесор обчислює відстань до поверхні рідини згідно з рівнянням (1.5), але параметр  $c$  інтерпретується як швидкість звуку [6].

Якщо під час налаштування показчика рівня введено контрольне значення висоти (висота резервуара/відстань від дна резервуара до показчика рівня), то в цьому випадку показчик рівня зможе розрахувати рівень рідини у резервуарі.

Перевагами ультразвукових вимірювачів рівня є встановлення як на порожні, так і на повні баки. Як правило, налаштування таких пристроїв просте завдяки вбудованим дисплеям і кнопкам або інструментам дистанційного налаштування, і їх можна запустити у роботу за лічені хвилини.

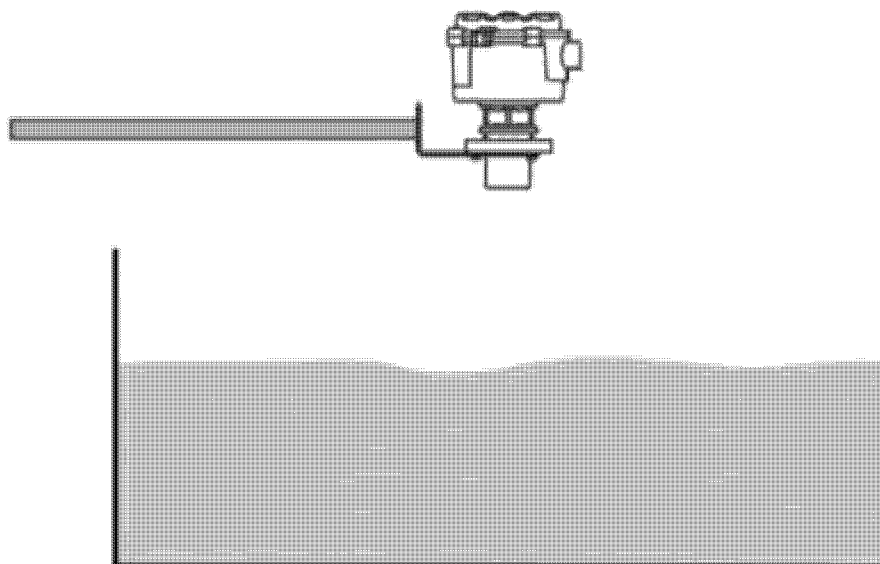


Рисунок 1.4 – Ультразвуковий рівнемір

Оскільки немає рухомих частин і немає контакту з вимірюваним середовищем, ультразвукові вимірювачі рівня практично не потребують обслуговування. Змочені (контактують з технологічною атмосферою) деталі зазвичай виготовляються з матеріалів стійких до корозії.

Оскільки рівнемір є безконтактним, результати вимірювання не залежать від зміни густини, діелектричних властивостей або в'язкості середовища. А от зміни температури викликають зміни швидкості поширення. Оскільки ультразвукові імпульси проходять через парогазовий простір над рідиною, ці відхилення часто можна автоматично виправити за допомогою вбудованих або дистанційних датчиків температури. Зміни тиску процесу не впливають на вимірювання.

Якщо над поверхнею рідини утворюються щільна пара рекомендується використовувати радарний вимірювач рівня. Ультразвукові методи вимірювання також не можна використовувати в середовищі з вакуумом.

Сфери застосування ультразвукових рівнемірів також обмежені характеристиками конструкційних матеріалів. У більшості випадків діапазон робочих температур обмежений температурами процесу до 70 °С і тиском до 0,3 МПа (3 бар).

### *Датчики тиску*

Якщо рівень вимірюється у відкритому/вентильованому баку, можна використовувати один супергідростатичний датчик (GP) або датчик диференціального тиску (DP). Якщо бак закритий або знаходиться під тиском, для компенсації тиску в баку необхідно використовувати датчик DP.

Щоб отримати значення рівня рідини у відкритому резервуарі, необхідно виміряти гідростатичний тиск рідини. Стовп рідини впливає на дно колони за рахунок власної ваги. Цей ефект називається гідростатичним тиском або тиском стовпа рідини і може вимірюватися в одиницях тиску за рівнянням:

$$GP = h\gamma, \quad (1.6)$$

де  $h$  – висота стовпа рідини;  $\gamma$  – питома вага стовпа рідини.

При зміні рівня рідини (висоти стовпа) пропорційно змінюється і гідростатичний тиск. Тому найпростішим способом вимірювання рівня рідини в резервуарі є встановлення датчика тиску на найнижчому рівні: тоді рівень рідини над точкою вимірювання можна отримати зі значення гідростатичного тиску та перетворити на висоту відповідно до наступна формула: наведена вище формула.

Якщо закритий резервуар знаходиться під тиском, показів одного датчика надлишкового тиску недостатньо, оскільки зміни загального тиску в резервуарі впливатимуть на процес вимірювання рівня. Щоб вирішити цю проблему в закритому баку, необхідно використовувати датчик перепаду тиску для компенсації тиску всередині баку. При використанні датчика перепаду тиску зміни загального тиску в резервуарі однаково впливають на верхню і нижню мембрани, тому ефект внутрішнього тиску повністю виключається.

Датчик перепаду тиску, встановлений біля дна резервуару, вимірює гідростатичний тиск, а також тиск у парогазовому просторі. Датчик перепаду тиску низького тиску (рис. 1.5) встановлений у верхній частині резервуара і вимірює тільки тиск у парогазовому просторі. Різниця між показаннями цих двох датчиків (перепад тиску) використовується для визначення рівня рідини.

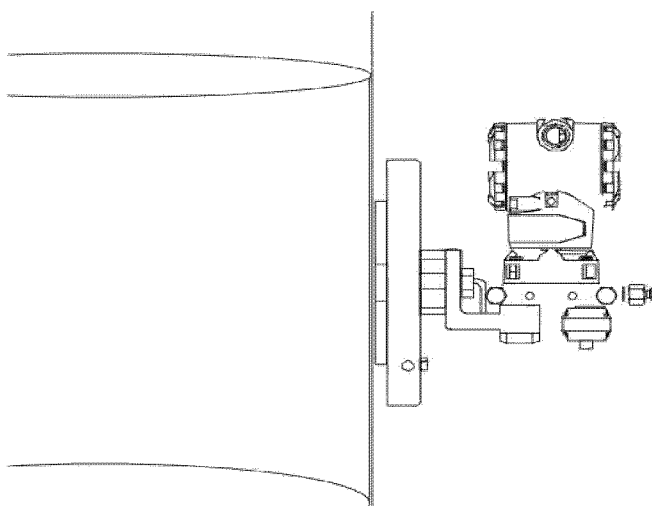


Рисунок 1.5 – Датчик перепаду тиску (DP)

Перевагами датчика тиску є економічність, простота у використанні. Крім того, датчики тиску можна використовувати практично з будь-яким резервуаром і рідиною, включаючи бурові розчини, і можуть працювати в широкому діапазоні тисків і температур.

Недоліками є те що на точність вимірювання рівня датчиком тиску можуть вплинути зміни густини рідини, тому слід вживати особливих запобіжних заходів під час роботи з густими, корозійними або іншими агресивними рідинами.

#### *Ємнісні рівнеміри*

При установці електрода для вимірювання рівня рідини в баку утворюється конденсатор (рис. 1.6). Металевий стрижень електрода діє як одна з кришок/обкладок конденсатора, а стінка резервуара (або електрод порівняння в неметалевому резервуарі) діє як інша пластина. Коли рівень повітря або газу навколо електрода збільшується то змінюється і діелектрична проникність. Електрична ємність конденсатора змінюється внаслідок зміни діелектричних властивостей об'єму середовища між пластинами. Ця зміна реєструється пристроєм, який вимірює ємність радіохвиль, і перетворюється в командний або пропорційний вихідний сигнал, який приводить в дію реле.



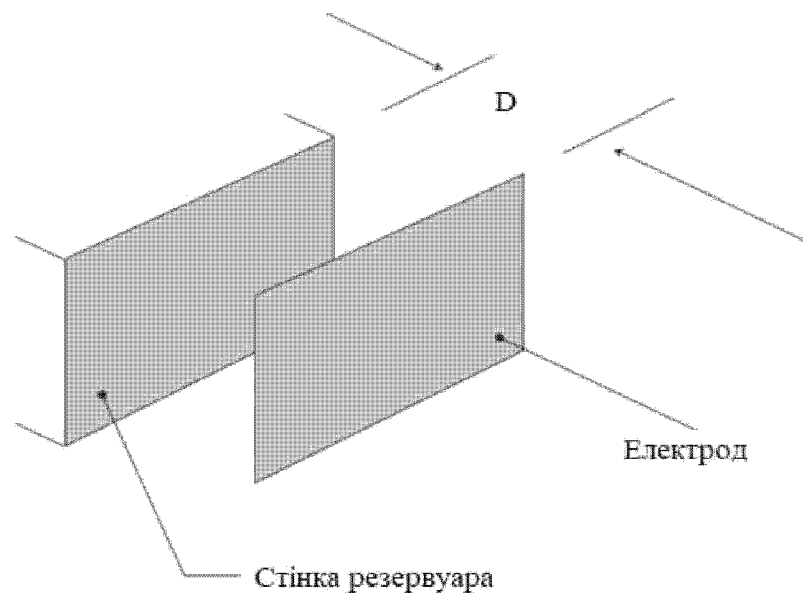


Рисунок 1.6 – Принцип роботи ємнісного рівнеміра

Залежність ємності конденсатора виражається наступним рівнянням:

$$c = 0.225\varepsilon \frac{S}{D}, \quad (1.7)$$

де  $c$  – ємність (пФ),  $\varepsilon$  – діелектрична проникність рідини,  $S$  – площа пластин ( $\text{м}^2$ ),  $D$  – відстань між пластинами (м).

За реальних умов зміна ємності буде змінюватися залежно від матеріалу, що вимірюється, і вибору електрода, який використовується для вимірювання рівня рідини. Однак основні принципи залишаються незмінними.

Перевагами ємнісних рівнемірів є те що їх можна використовувати в широкому діапазоні технічних параметрів, особливо в умовах змінної щільності, високих температур (до  $540^\circ\text{C}$ ), високих тисків (до 34,5 МПа / 345 бар), у присутності вузьких/в'язких виробів, піни та пасти. Його можна використовувати для безперервного або точкового вимірювання рівня рідин, а також підходить для вимірювання рівня рідини на межі розділу середовищ. Крім того, ємнісні датчики рівня відрізняються доступністю і довговічністю.

Недоліками є зміна діелектричних властивостей матеріалу, а також осадження продукту на зонді можуть викликати похибки вимірювання ємнісних рівнемірів. Калібрування ємнісних рівнемірів може викликати труднощі. Крім того, ємнісним рівнемірам дуже важко працювати в умовах сильного утворення піни.

### *Буйкові рівнеміри*

Поплавковий датчик рівня встановлюється у верхній частині резервуара або частіше у віддаленій камері, з'єднаній з резервуаром через клапан. Конструктивно він складається з бую, буйкової підвіски, з'єднаної торсійною віссю, або пружинної підвіски з електронним датчиком рівнеміра (рис. 1.7). У міру підвищення рівня рідини в резервуарі поплавковий датчик все глибше занурюється в ємність. На буй діє сила, пропорційна вазі рідини, витісненої буюм. Цю силу та її зміни сприймають електронні датчики рівня.

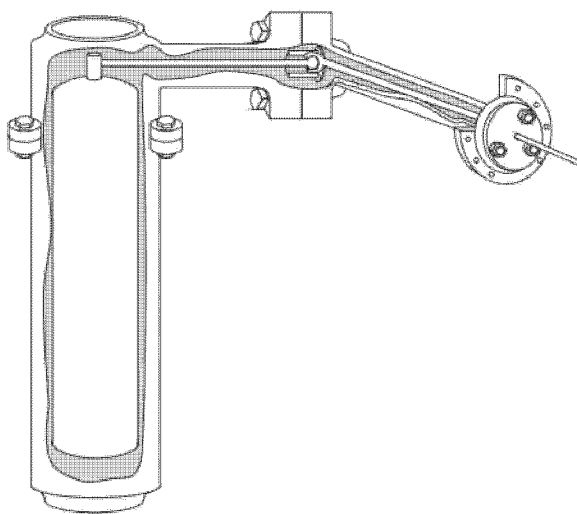


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд буйкового рівнеміра

Перевагами буйкового рівнеміра є те що за умови регулярного технічного обслуговування та перевірок калібрування вони повинні працювати бездоганно протягом багатьох років. Ці пристрої набули широкого застосування завдяки їх здатності працювати при екстремальних тисках і температурах процесу та їх здатності визначати рівень межі розділу між двома рідинами навіть за наявності шару емульсії між ними, що дозволяє вимірювати рівень у важких умовах експлуатації.

Недоліками буйкового рівнеміра є те що вони потребують регулярного технічного обслуговування та повторного калібрування та можуть пошкодитися, якщо рівень часто змінюється. Зміни густини вимірюваного середовища також можуть сильно вплинути на точність вимірювання, у цьому випадку майже завжди потрібне повторне калібрування. Використання поплавкових рівнемірів з діапазоном вимірювання понад 5 м вважається недоцільним.

#### *Радіоізотопні рівнеміри*

Радіоізотопний рівнемір складається з екранованого радіоізотопного джерела, підключеного до однієї сторони бака, і приймача, розміщеного з іншої сторони (рис. 1.8). Гамма-промені випромінюються джерелом і проходять через стінку резервуара, де знаходиться досліджувана рідина, і спрямовуються на протилежну стінку резервуара, де розташовано приймач. Доза радіації, яку реєструє приймач, обернено пропорційна кількості продукту в баку. Хоча термін «радіоізотоп» інколи викликає страх, безпечне використання методу в промисловості було задокументовано понад 30 років тому.

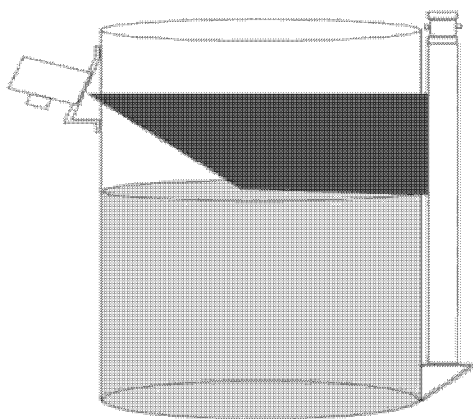


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд радіоізотопного рівнеміра

Найбільша перевага радіоізотопного методу вимірювання полягає в тому, що він не вимагає жодного підключення обладнання безпосередньо до резервуару. Крім того, радіоізотопні вимірювачі рівня є безконтактними, не піддаються впливу високих температур, тиску, корозійних, абразивних і в'язких матеріалів і не чутливі до змішування, засмічення або забруднення.

Значні коливання густини можуть призвести до похибок вимірювання. Відкладення матеріалу на стінках бака також можуть вплинути на результати вимірювань. Застосування радіоізотопних методів вимагає наявності ліцензії на застосування та обов'язкового контролю на відсутність витоків, а також дотримання суворих вимог охорони праці.

### *Магнітострикційні рівнеміри*

Магнітострикційний прилад визначає момент перетину двох магнітних полів, одне з яких створюється плаваючим магнітом, а інше — хвилеводом (рис. 1.9). Електроніка генерує імпульси струму малої потужності, які поширюються по хвилеводу і коли магнітне поле імпульсу взаємодіє з магнітним полем, створеним плаваючим магнітом, чутливий елемент генерує ультразвукові хвилі, а час їх поширення вимірюється електронікою рівнеміра.

Перевагами магнітострикційних рівнемірів є малі похибки вимірювання ( $\pm 1$  мм). За їх допомогою можна вимірювати рівень на поверхні розділу рідини та середовища, а також вимірювати температуру процесу в одній або кількох точках.

Недоліками магнітострикційних рівнемірів є те що поплавков магнітострикційного рівнеміра повинен безпосередньо контактувати з технологічним середовищем, поплавок може піддаватися корозії та підходить лише для вимірювання рівня рідкого середовища.

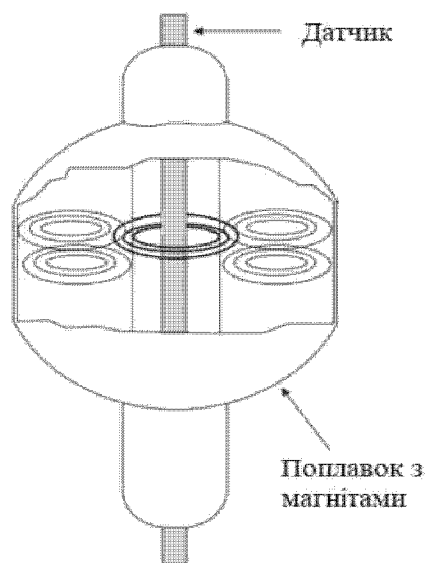


Рисунок 1.9 – Принцип роботи магнітострикційного рівнеміра

### *Вібраційні сигналізатори*

Вібраційний сигналізатор складається з двокомпонентного камертона, який вібрує на власній частоті завдяки п'єзоелектричному елементу та приймача. Сигналізатор монтується зверху або збоку бака так, щоб заглушка знаходилася всередині бака (рис.1.10). У середовищі пароподібного газу пробка вібрує на власній резонансній частоті, яка постійно контролюється електронікою.

Коли вилка занурюється в робоче середовище, частота вібрації змінюється. Електроніка виявляє зміни частоти та генерує команди виконавчим механізмам. Потрібно вибрати робочу частоту сирени, щоб уникнути резонансу з частотами вібрації найближчих робочих механізмів щоб уникнути помилкових тривог.

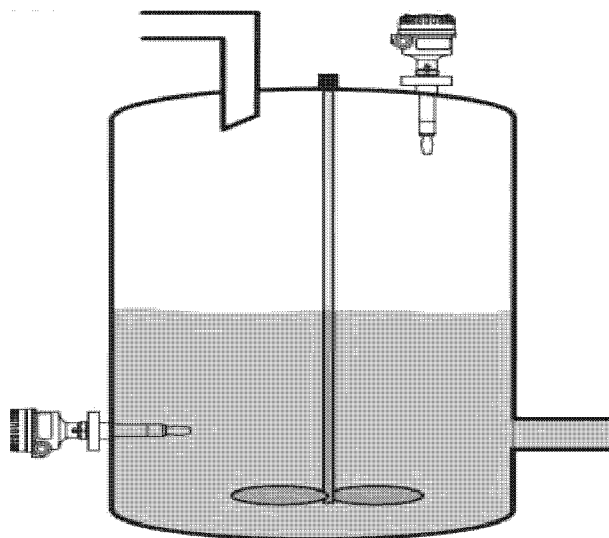


Рисунок 1.10 – Приклад монтажу вібраційного сигналізатора

Перевагами є те що на роботу рівнеміра практично не впливають: потік рідини, турбулентність, бульбашки, піна, вібрація, твердіння, адгезія, осідання та зміни властивостей/характеристик рідини. Після установки на місці додаткове калібрування не потрібно. Сигналізація вимагає мінімального встановлення, не має рухомих частин і зазорів і майже повністю не потребує обслуговування.

Недоліками вібраційних рівнемірів є непридатні для роботи в дуже в'язких середовищах. У деяких випадках відкладення між зубцями вилки можуть порушити надійність її роботи та призвести до помилкових стартів.

## РОЗДІЛ 2. ВИБІР ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЗАПОВНЕННЯМ РЕЗЕРВУАРІВ

### 2.1 Технічні вимоги

Сформулюємо технічні вимоги для кваліфікаційної роботи.

1. Назва продукту:
  - система контролю та керування заповненням резервуарів.
2. Призначення товару:
  - Виріб призначений для регулювання за допомогою клапана, що відповідає за контроль та керування заповненням резервуарів.
3. Медичні вимоги:
  - Вимоги до виробів для виконання функціональних завдань.
  - Продукт повинен підтримувати тестове середовище (рідину) в межах певного діапазону рівня рідини.
4. Принцип роботи приладу:
  - Принцип роботи пристрою заснований на зміні інтенсивності світлового потоку, що випромінюється і приймається датчиком.
5. Кількість предметів дослідження:
  - Може вимірювати лише один резервуар.
6. Вимоги до установки, контролю та налаштування режиму роботи:
  - Пристрій має три види світлової індикації: нормальний режим роботи, режим зарядки та режим сигналізації.
7. Оцінка наслідків несправності товару під час його використання:
  - Несправність продукту (переповнення резервуара/дренаж) призведе до виходу з ладу обладнання, що використовується.
8. Основні компоненти:

- Оптичний датчик бар'єрного типу (2 од.);
  - Насос для перекачки рідини;
  - Фотодіоди (2 од.);
  - Зарядний пристрій.
9. Запасні частини і аксесуари:
- Герметична конструкція (2 од.).
10. Технічні параметри:
- Номінальна напруга змінного струму, В: 220;
  - Частота змінного струму, Гц: 50.
11. Метрологічні характеристики згідно з ГОСТ 8.009:
- Відхилення від номінальної напруги змінного струму, %:  $\pm 10$ ;
  - Відхилення від частоти змінного струму, Гц:  $\pm 0,5$ .
12. Характеристика енергоживлення:
- Захист забезпечується додатковим захисним заземлювачем.
13. Часові характеристики:
- Час безперервної роботи, год, не менше: 10;
  - Час готовності до роботи, с, не більше: 10.
14. Умови використання:
- Вимоги до стійкості до впливу навколишнього середовища;
  - Продукти повинні витримувати стандартні умови навколишнього середовища Категорія УХЛ 4.2, номінальні значення температури від  $+10$  до  $+35^{\circ}\text{C}$  (номінальна відносна вологість повітря 80% при  $25^{\circ}\text{C}$ ).
15. Вимоги стійкості до кліматичного і міцності до механічного впливів при експлуатації:
- Виріб повинен відповідати вимогам стійкості до вібраційних навантажень при роботі на частоті 50 Гц (амплітуда вибирається за таблицею - 0,25 мм, ГОСТ 20790);
  - Продукт повинен бути в хорошому стані після транспортування (у транспортній упаковці) і бути здатним витримувати прискорення до 30 м/с<sup>2</sup>.

16. Вимоги до безпеки:

– Медичні вироби призначені для використання з іншими виробами чи пристроями, і такі з'єднання (включаючи системи з'єднання) мають бути безпечними та не погіршувати характеристики виробу. Будь-які обмеження щодо використання таких продуктів вказані на етикетці;

– Розробляти та виготовляти медичні вироби з радіаційними функціями для забезпечення запобігання: опромінення пацієнтів, користувачів та інших без обмеження рівнів, необхідних для досягнення цілей.

17. Вимоги до надійності:

– Клас виробу: II.

18. Вимоги до конструктивного виконання:

– Площа виробу (коробки), см<sup>2</sup>: 121;

– Виріб повинен бути виготовлений із корозійностійких матеріалів;

– Для забезпечення електромагнітної сумісності обладнання має відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 60601-1-2, ДСТУ ІЕС 61000-6-2:2008.

19. Вимоги до ергономіки:

– Виріб повинен відповідати загальним вимогам до розміщення механізмів керування та пристроїв відображення інформації ГОСТ 22269-76.

20. Вимоги до естетики:

– Виріб повинен відповідати вимогам забезпечення патентної чистоти згідно з ДСТУ 3575-97.

21. Вимоги до маркування і пакування:

– Передавачі, детектори та насоси повинні бути позначені назвою моделі та найважливішими технічними характеристиками на своїх корпусах;

– Хост повинен бути оснащений міткою;

– Упаковка повинна бути захисною: непрозорою, водонепроникною, герметичною, ударостійкою.



## 2.2 Порівняльна характеристика методів вимірювання рівня рідини

Нижче ви можете побачити придатність розглянутих датчиків за певних умов (табл. 2.1). Умови є критичним кроком у виборі датчика.

Таблиця 2.1 – Порівняння і оцінка методів вимірювання рівня рідини в залежності від факторів оточуючого середовища

Умови вимірювання/Метод	Гідростатичний	Ємнісний	Ультразвук	Хвилеводний радар	Безконтактний радар	Радіоізотопний	Буйковий	Магнітострикційний	Поплавковий	Вібраційний
Аерація	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1
Перемішування	1	2	3	2	2	1	1	2	2	1
Зміна температури оточуючого середовища	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1
Корозія	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2
Зміна густини	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1
Зміна діелектричної проникності середовища	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Пил	1	1	3	1	2	1	3	1	3	3
Піна	1	2	3	2	2	1	1	1	1	2
Висока температура	1	1	3	1	2	1	1	3	1	1
Високий тиск	1	1	3	1	2	1	1	3	1	1
Внутрішні конструкції в резервуарі	1	2	3	2	2	2	1	1	2	1
Низька температура	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1
Вакуумметричний тиск (розрідження)	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1
Перешкоди (ЕМП, двигуни, компресори)	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
Відкладення, налипання	3	3	2	2	1	2	3	3	2	2
Суспензії	2	1	1	2	1	1	3	3	2	2
Пари	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
В'язкі, липкі середовища	2	2	1	2	1	1	3	3	2	2

Трактування таблиці:

1=Добре: Ця умова мало або взагалі не впливає на ефективність вимірювання;

2=Задовільно: метод можна використовувати за даних умов, але надійність вимірювань може бути знижена або може знадобитися спеціальне встановлення;

3 = Погано: метод не підходить для даних умов.

У кваліфікаційній роботі розглядаються 10 основних методів вимірювання рівня рідини, кожен із яких має свої переваги та обмеження, зумовлені факторами навколишнього середовища та характеристиками самої рідини. На основі цього була розроблена порівняльна таблиця 2.1.

Згідно з таблицею 2.1, найбільш універсальним є радіоізотопний вимірювач, але його недоліками є висока вартість і шкідливе іонізуюче випромінювання, тому було обрано оптичний датчик бар'єрного типу, який працює за таким же принципом. Тільки лазерне випромінювання має часову і просторову когерентність, що дозволяє отримати інтенсивний і спрямований промінь, тому в якості джерела випромінювання вибирають лазерні діоди. [5, 9].

### **2.3 Характеристика контролю рівня рідини**

Функціональна схема контролю рівня рідини використовується для автоматизації процесу вимірювання та підтримання певного рівня рідини в різних ємностях. Вона знаходить широке застосування у промисловості, системах водопостачання, опалення та охолодження.

Основними компонентами такої системи є датчики рівня рідини, контролер, виконавчі механізми та сигнальні пристрої. Датчики рівня можуть бути різних типів, включаючи поплавкові, ємнісні, ультразвукові, радарні та гідростатичні. Вони безперервно вимірюють рівень рідини в ємності та передають цю інформацію до контролера. Контролер аналізує отримані дані, порівнює їх із заданими

параметрами та видає керуючі сигнали виконавчим механізмам, таким як насоси та клапани, які забезпечують регулювання рівня рідини.

Виконавчі механізми виконують команди контролера, запускаючи процес заповнення або відкачування рідини в залежності від необхідності. Сигнальні пристрої, як-от сигнальні лампи та звукові сигналізатори, повідомляють операторів про поточний стан рівня рідини та попереджають про досягнення критичних рівнів. Це дозволяє забезпечити надійність і безпеку роботи системи.

Уся система працює за принципом безперервного моніторингу рівня рідини, обробки отриманих даних контролером, керування виконавчими механізмами та сигналізації поточного стану. Така схема дозволяє автоматизувати процеси контролю рівня рідини, підвищуючи їх ефективність та надійність.

Функціональні зв'язки приладу представлені на рис. 2.1. Суцільними стрілками показаний електричний зв'язок між функціональними блоками, штриховими стрілками – оптичний. Випромінювання лазерних діодів 1, струм яких контролюється драйверами 3, поступає на фотодіоди 2, сигнал від яких передається на блок управління 4. Блоком управління здійснюється керування регулятора об'ємної витрати рідини 5. Живлення здійснюється компонентом 6.

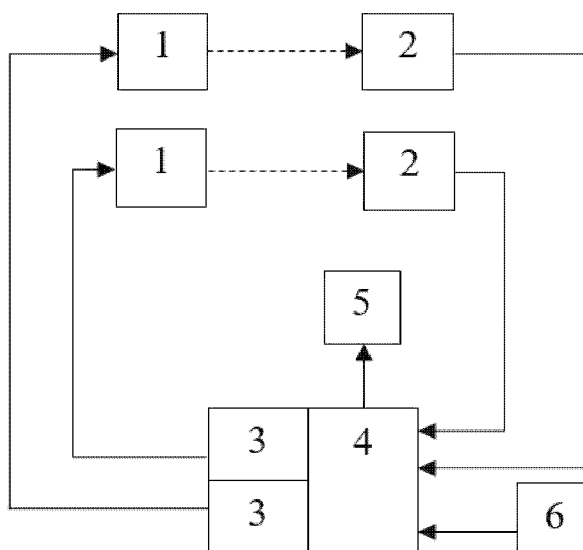


Рисунок 2.1 – Функціональна схема контролю рівня рідини

## РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ У РЕЗЕРВУАРІ

### 3.1 Основні принципові вузли та структурна схема виробу

Структурна схема системи контролю та керування заповненням резервуару зображена на рисунку 3.1. Система складається з джерела живлення, підключеного до двох випромінювачів лазерного променя, сигнали яких приймаються детектором. Один датчик розміщується на верхній межі необхідного рівня рідини, а інший датчик – на нижній межі. Принцип полягає в тому, що інтенсивність випромінювання змінюється під час проходження через рідину, що описується законом Бугера-Ламберта. [9]:

$$I(l) = I_0 e^{-\alpha l}, \quad (3.1)$$

де  $I_0$  – початкова інтенсивність випромінювання;  $I(l)$  – інтенсивність пучка, який пройшов деяку відстань  $l$  і потрапив на детектор;  $\alpha$  – показник поглинання, що не залежить від інтенсивності світла і має розмірність 1/м.

Верхній датчик повинен реєструвати дуже невеликі зміни інтенсивності, нижній датчик повинен фіксувати значні зміни інтенсивності внаслідок проходження через рідину з індексом поглинання. Тому для підтримки цього рівня потрібні різні початкові показники інтенсивності випромінювання.

Сигнал посилюється і подається на блок порівняння. У цьому вузлі значення кожного сигналу може приймати логічний 0 або 1. Опорним сигналом є значення, коли рідина в баку відсутня. Таким чином, система прагне підтримувати сигнал постійним (1/0). Нуль означає високий рівень рідини, а одиниця – навпаки.

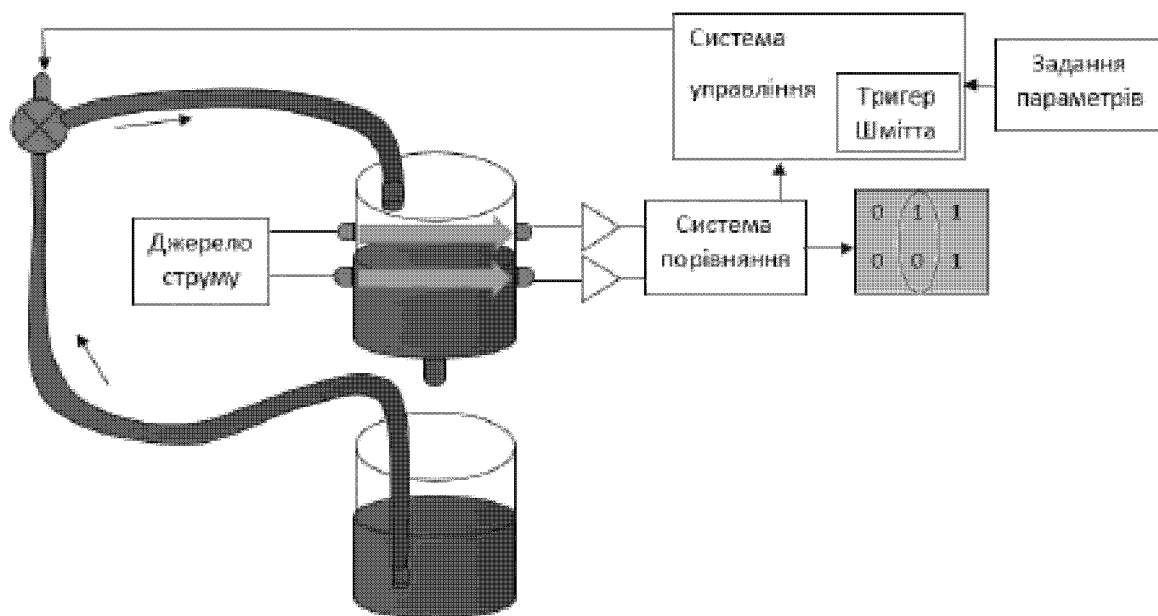


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи контролю заповнення резервуару

Система управління регулює подачу рідини на основі інформації, що передається від блоку порівняння. Важливо відзначити, що в системі є постійний потік рідини, який відбувається через маленькі отвори в нижній поверхні бака. Рідина накопичується в іншій ємності, де розміщена трубка. Насос качає рідину з цього резервуара і подає її в основний резервуар, коли це необхідно. Для цього в середині трубки розміщують елемент для регулювання об'ємної витрати рідини. Щоб збільшити потік, треба просто збільшити напругу на елементі.

Оскільки необхідний рівень рівновіддалений від обох датчиків, в систему контролю включений тригер Шмітта, який створює петлю гістерезису. Це необхідно для того, щоб при досягненні бажаного сигналу від детектора регулятор об'ємної витрати рідини залишався в заданому стані протягом певного періоду часу для досягнення цього ізометричного рівня.

В якості випромінювачів використовувалися два синіх лазерних діода з довжиною хвилі 450 нм і вихідною потужністю до 1 мВт, які живилися від 4 батарейок типу ААА по 1,5 В кожна [8], або від стаціонарного блоку живлення. Для реалізації вибрано лазер Н834501D, його характеристики та зовнішній вигляд показані на рисунку 3.2 і в таблиці 3.1 відповідно.

Оскільки випромінювальний елемент дуже тонкий, промінь на виході діода практично одразу розходить через дифракцію. Для компенсації цього ефекту та отримання тонких напрямлених пучків на виході елемента встановлено збиральну лінзу [6].

Таблиця 3.1 - Характеристики лазерного діода H834501D

Режим	Широтно-імпульсна модуляція
Довжина хвилі	450 нм
Матеріал лінз	Скло
Вихідна потужність	< 1 мВт
Кут розходження	< 0.7
Матеріал корпусу	Алюміній

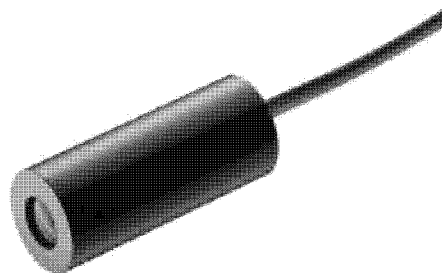


Рисунок 3.2 – Лазерний діод H834501D

Лазерні діоди мають малу площу кристала, тому може спостерігатися значна концентрація потужності. Це може призвести до короточасного перевищення значень струму при включенні, що призведе до перегорання діода. Щоб лазерний діод працював якомога довше, необхідно скористатись типовою схемою для їх підключення (рис. 3.3).

Схема драйвера та 3D-вид друкованої плати, виготовленої в програмному середовищі DipTrace 4.1.2.0, показані на рисунку 3,4 і 3,5 відповідно. Однак діод не можна підключити безпосередньо до драйвера, також потрібен датчик струму - загальна лінія резистора з низьким опором, що міститься в проміжку між діодом і лазером [3, 8].



PIN-040DP/SB наведено в таблиці 3.2, а його зовнішній вигляд показано на рисунку 3.6.

Таблиця 3.2 – Характеристики фотодіода PIN-040DP/SB

Активна область	Діаметр	1.02 мм
	Площа	0.81 мм <sup>2</sup>
Чутливість	Мінімальна	0.15 А/Вт
	Типова	0.20 А/Вт
Ємність		60 пФ
Шунтуючий опір		600 МОм
Макс. робочий струм		0.5 мА
Корпус		ТО-18

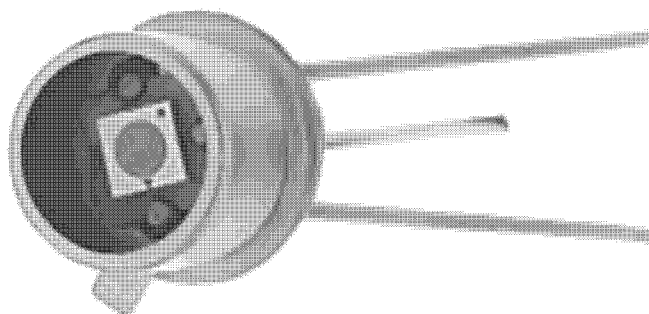


Рисунок 3.6 – Вигляд фотодіода PIN-040DP/SB

Оскільки детектори знаходяться лише на невеликій відстані один від одного, випромінювання від лазерних діодів (яке має падати лише на один фотодіод) буде розсіюватися та сприйматися іншим фотодіодом. Це може вплинути на надійність сигналу. Цього небажаного ефекту можна уникнути за допомогою ущільнювальної конструкції, прикріпленої до активної області фотодіода. На рисунку 3.7 Показано корпус фотодіода. Діаметр його робочої зони становить 4,8 мм, тому необхідно зробити металеву конструкцію для направлення променя на необхідні фотодіоди. Система, що складається з лінзи лазерного діода і ущільнення фотодіода, діє як коліматор.



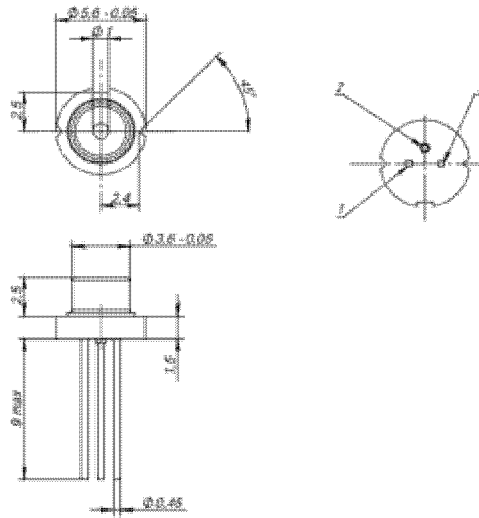


Рисунок 3.7 – Корпус ТО-18 фотодіода

Для перекачування рідини необхідний насос, підключений до системи управління. Оснащений регулятором об'ємної витрати.

### 3.2 Електрична схема виробу

За допомогою різних компонентів середовища Мікро-Сар 12 було побудовано схему керування рідиною від фотодетектора до реле з двигуном (рис. 3.8), оскільки джерело випромінювання має незалежне живлення.

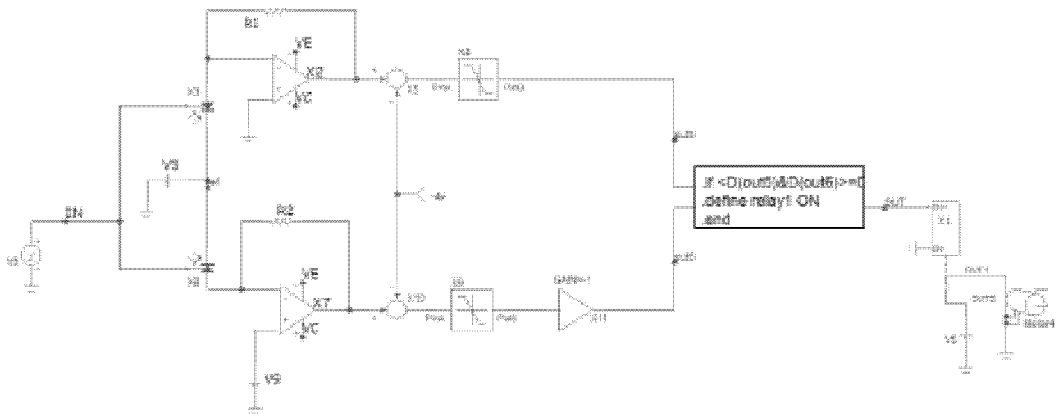


Рисунок 3.8 – Електрична схема виробу

Трикутний сигнал від імпульсного джерела V6 (рис. 3.9, а) надходить на фотодіоди X3 і X8. Далі сигнал надходить на схеми операційного підсилювача X2 і X7. Посилений сигнал потім порівнюється з опорним сигналом за допомогою віднімачів X5 і X10. Елементи X4 і X9 є підсилювачами з обмеженням вихідної напруги, сигнал від яких (рис. 3.9, б) надходить на логічний контур і реле X1, яке замикає або розмикає контакти в залежності від величини сигналу. Для регулювання роботи двигуна.

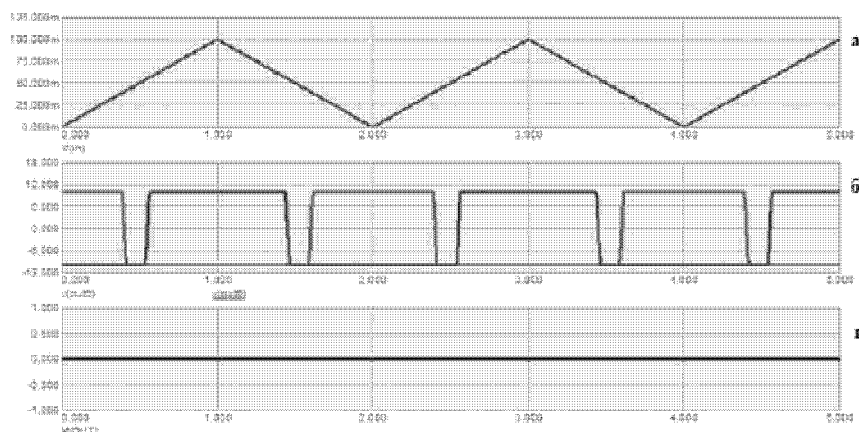


Рисунок 3.9 – Графіки перехідних процесів у вузлах in(a), out5 – червона крива, out6 – зелена крива(б), OUT(в)

Вихідний сигнал цієї схеми (рис. 3.9, в) імітує замикання реле і розмикання двигуна.

### 3.3 Моделювання друкованої плати

Друкована плата реалізована за принциповою схемою шляхом заміни окремих компонентів у програмному середовищі DipTrace. Схема підключення показана на рисунку 3.10, виконана в середовищі DipTrace 4.1.2.0 – Schematic Capture. Фотодіод кріпиться до плати за допомогою пайки. Зарядка через роз'єм USB 3.0.

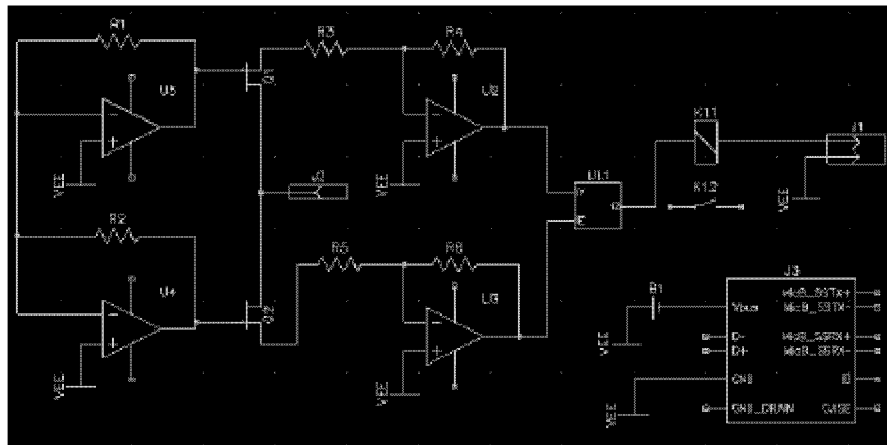


Рисунок 3.10 – Електрична схема друкованої плати

Для перетворення цієї схеми на друковану плату в програмі передбачено редактор друкованих плат PCB Layout, за допомогою якого можливе ручне або автоматичне трасування (рис. 3.11).

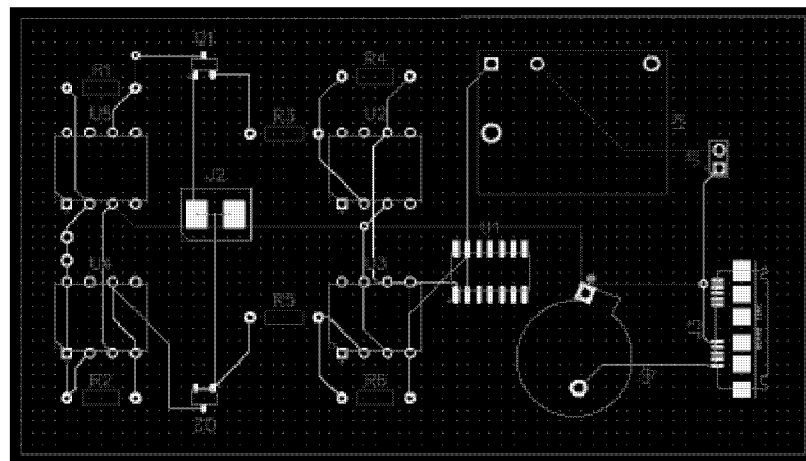


Рисунок 3.11 – Трасування друкованої плати виробу

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Характеристики систем контролю заповнення рідини в резервуарах технічного призначення

#### 4.1.1 Характеристики компонентів виробу

Прилад для утримання постійного рівня рідини в резервуарі технічного призначення, характеристики якого вказані в таблиці 4.1, має три основні компоненти: лазерні діоди, фотодіоди, корпус приладу, що включає в себе драйвери лазерних діодів та блок управління. Допоміжними компонентами є регулятор об'ємної витрати рідини та зарядний пристрій. Класи виробу за способом і ступенем захисту зазначені згідно з ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання». Для систем контролю рідини в резервуарах технічного призначення не висуваються спеціальні умови щодо тиску, температури тощо.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики компонентів виробу

№	Найменування компонентів виробу	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Лазерний діод H854301D	Клас виробу за способом захисту – I Клас виробу за ступенем захисту – IP 30 Матеріал корпусу: алюміній Вихідна потужність: <1 мВт	2	1
2	Фотодіод PIN040DP/SB	Клас виробу за способом захисту – I Клас виробу за ступенем захисту – IP 30 Корпус TO-18 Максимальний робочий струм: 0,5 мА Шунтуючий опір: 600 МОм Ємність 60 пФ	2	2
3	Драйвер	Клас виробу за способом захисту – I Клас виробу за ступенем захисту – IP 30 Постійна напруга: 3...3,3 В Струм: 300 мА	2	3

## Продовження таблиці 4.1 – Технічні характеристики компонентів виробу

№	Найменування компонентів виробу	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
4	Блок управління	Клас виробу за способом захисту – I Клас виробу за ступенем захисту – IP 30 Робоча напруга: 5 В Постійний струм: 20 мА	1	4
5	Регулятор об'ємної витрати рідини	Параметри електромережі: 220 В, 50 Гц Клас ізоляції обмоток: Н Ступінь захисту: IP 44 Максимальний напір: 3,5 м	1	5
6	Зарядний пристрій	Вхідна напруга: 220 В Вихідний струм: 1,5...3 А	1	6

**4.1.2 Характер взаємодії виробу в системі «людина-об'єкт»**

Інформацію щодо основних компонентів виробу, що безпосередньо взаємодіють з людиною вказано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Взаємодія елементів системи контролю заповнення резервуару в системі «людина-об'єкт»

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	Кількість
1	Блок управління	індикатор підключення живлення – світлодіод	1
2	Зарядний пристрій	індикатор підключення живлення – світлодіод	1

## 4.2 Оцінка потенційних небезпек та заходи з їх усунення

Фізичні джерела небезпечних і шкідливих факторів.

Найбільшу небезпеку в системах контролю заповнення рідини несуть лазерні діоди. Хоча їхня потужність і вибрана відповідно до ІЕС 60825 – 1: 2014 «Safety of laser products», проте є імовірність того, що він почне працювати несправно. Виникає ризик ураження органу зору людини. У таблиці 4.3 вказане основне джерело фізичної небезпеки приладу з можливими наслідками.

Таблиця 4.3 – Основні джерела фізичних небезпек

№	Найменування блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Лазерний діод Н854301D	Випромінювання лазера	Надмірна потужність випромінювання	Ураження органів зору

У таблиці 4.4 показані номенклатурні заходи з охорони праці для забезпечення оптимальної роботи з виробом.

Таблиця 4.4 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо фізичних небезпек

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні	Регулятор потужності лазерного діода	Захист від перегорання
		Захисний кожух лазерного діода	Обмеження доступу до лазерного діода
		Автомат з запобіжником	Обрив ланцюга живлення при невідповідності значень струму на лазерному діоді
2	Організаційні	Інструкція з експлуатації	Ознайомлення з методикою використання приладу
3	Режимні	Нормований час роботи (не більше 10 годин)	Запобігання розрядження акумулятора
	Експлуатаційні	Перевірка лазерних діодів на цілісність	Забезпечення безпеки лазерів
4	ЗІЗ	Окуляри для захисту людини від впливу випромінювання лазера	У випадку виходу лазерних діодів з ладу

Для запобігання несправній роботі лазерних діодів, їхня потужність регулюється драйверами. У таблиці 4.5 приведені вимоги та умови безпеки провадження діяльності з використанням лазерних джерел випромінювання.

Таблиця 4.5 – Реальні та нормативні фактори небезпеки, які створюються у технологічному процесі

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Потужність лазерного діода	0,9 мВ	<1 мВ
2	Струм на драйвері	3 В	3...3,3 В

Небезпека ураження людини електричним струмом

При роботі з приладами, компоненти якого мають різну напругу живлення, важливо дотримуватися техніки безпеки. У таблиці 4.6 вказані основні джерела електронебезпеки.

Таблиця 4.6 – Оцінка небезпеки електричного поля та електричного струму

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Блок управління	Електричний струм	Неправильне з'єднання лазерних діодів та фотодіодів з блоком управління	Пошкодження доріжок плати
			Пошкодження ізоляції електричних з'єднань між фотодіодами та блоком управління і між лазерними діодами і блоком управління	Ураження електричним струмом
2	Зарядний пристрій	Електричний струм	Потрапляння води на електроніку приладу	Ураження електричним струмом, псування пристрою

У таблиці 4.7 приведені реальні та нормативні фактори, що створюються в технологічному процесі при роботі з системою утримання постійного рівня рідини в резервуарах технічного призначення.

Таблиця 4.7 – Реальні та нормативні фактори, які створюються у технологічному процесі

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Напруга на блоці живлення	210-230 В	до 42 В
2	Напруга на блоці управління	4-7 В	до 42 В
3	Максимальний струм	18-22 мА	20 мА

Невідповідність реальних та нормативних значень потребує розробки заходів з забезпечення охорони праці щодо електричної безпеки розробленої системи контролю рівня рідини у резервуарі (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Заходи охорони праці щодо електричної безпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні	Малі напруги (до 42 В) на блоці керування	Унеможливлення попадання працівника під небезпечний струм
		Трансформація (зниження) струму в блоці живлення	Унеможливлення переходу струму з високої сторони на низьку
		Кольорове маркування дротів підключення лазерних діодів і фотодіодів та їх ізоляція	Унеможливлення помилкового з'єднання компонентів та запобігання короткому замиканню
		Герметичність корпусу, щільне з'єднання швів	Недопущення потрапляння води та механічних ушкоджень
		Регулятор напруги на блоці живлення	Налаштування робочої напруги
2	Організаційні	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань електричної безпеки
3	Режимні	Перевірка несправностей спеціалістом	Запобігання виходу з ладу виробу
4	Експлуатаційні	Перевірка корпусу на цілісність	Забезпечення безпечного використання приладу



Небезпека займання.

В процесі експлуатації приладу можливе перегрівання деяких його вузлів, коротке замикання джерела живлення, що може призвести до появи іскор, тління та пожежі. Основні небезпеки, пов'язані з пожежами, та їх наслідки представлені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Оцінка небезпек, зв'язаних із займанням частин систем контролю рідини

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Блок управління	Електричні іскри	Перегрівання блоку	Виникнення пожежі внаслідок загорання виробу
2	Зарядний пристрій	Струм короткого замикання	Порушення умов експлуатації	Виникнення пожежі внаслідок загорання виробу

Для забезпечення пожежної безпеки створені різного роду заходи з ОП та критерії вибору, зазначені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Заходи з охорони праці щодо забезпечення пожежної безпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні	Виготовлення корпусу приладу з важкозаймистих матеріалів	Захист від короткого замикання та уникнення займання
		Встановлення запобіжника	Захист від перегріву та уникнення займання
		Розміщення приладу у вентильованому приміщенні	Запобігання згущенню диму
2	Організаційні	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань пожежної безпеки
3	Експлуатаційні	Ретельний огляд приладу перед використанням	Забезпечення безпечного використання приладу, попередження загорання приладу

## ВИСНОВКИ

З технічної точки зору виконано всі поставлені завдання з моделювання системи підтримки постійного рівня рідини в резервуарі.

Спочатку були розглянуті властивості рідини, оскільки придатність різних датчиків залежить від них і стану навколишнього середовища, тобто розглянуті 10 найпоширеніших датчиків. Описано принцип роботи датчиків, вказано на їх переваги та обмеження, на основі чого розроблено порівняльну таблицю з оцінкою придатності кожного методу для різних умов середовища та властивостей рідини. Був обраний найбільш універсальний метод вимірювання рівня рідини – оптичний. Більш вузький аналіз оптичного вимірювача показує, що лазерне випромінювання має найбільш спрямований пучок.

У практичній частині спочатку малюється структурна схема пристрою та пояснюється принцип його роботи. Була обрана модель лазерного діода та побудована на ній схема стабілізації живлення в середовищі DipTrace. Крім того, в якості приймача лазерного променя була обрана модель фотодіода.

Моделювання перехідних процесів у системах керування продукцією виконується в середовищі MicroCap. Друкована плата системи керування моделюється в середовищі DipTrace. За допомогою КОМПАС-3D розроблено шасі, що містить плату системи керування та плату драйвера лазерного діода. Медико-технічні вимоги встановлюються на основі стандартів проектування та дослідження обладнання.

У розділі 4 аналізується, які частини продукту становлять фізичну, електричну та пожежну небезпеку, і пропонуються заходи щодо усунення цих небезпек.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ваврейчук С. В. Звукова технологія автоматичного контролю рідини в резервуарах: навч. посіб. Київ : Талком, 2019. 74 с.
2. Колобродов В. Г. Хвильова оптика. Частина 1. Електромагнітна теорія світла та інтерференція: навч. посіб. Київ : Талком, 2017. 210 с.
3. Ларичева Л. П., Волошин М. Д., Луценко О. П. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів: навч. посібник. Дніпродзержинськ. ДДТУ, 2015. 320с.
4. Літовко М. А. Система обліку легких вуглеводнів. навч. посіб. Київ : Талком, 2019. 91 с.
5. Миколаєць Д. А. Пристрої відображення та реєстрації інформації. навч. посіб. Київ : Талком, 2017. 388 с.
6. Перегудова В. І. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. навч. посіб. Київ : Талком, 2016. 316 с.
7. Тищенко О. В. Електронна система безконтактного вимірювання рівня рідини. навч. посіб. Київ : Алерта, 2019. 70 с.
8. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання. навч. посіб. Запоріжжя: ЗНУ, 2018. 398 с.
9. Шуаїбов О. К., Опачко І. І., Качер І. Е., Чучман М. П. Лазерні джерела випромінювання та їх застосування в мікроелектроніці. навч. посіб. Ужгород: Просвіта, 2009. – 238 с.
10. Photodiode monitoring with Op Amps. URL: <https://docplayer.net/21041372-Application-bulletin.html> (датазвернення: 26.05.2024).
11. Burns M. The evolution of liquid level sensing. URL: <https://www.sensortips.com/capacitive/the-evolution-of-liquid-level-sensing/> (дата звернення: 26.05.2024).
12. Christ K., Burrirt R. Critical environmental concerns in wine production:

An integrative review. Journal of Cleaner Production. 2013, 53. P. 232-242.

13. Бедрій Я. І., Джигирей В. С., Кидасюк А. І. Охорона праці. навч. посібн. Львів: ПТВФ «Афіша», 1997. 258 с.

14. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки. Навч. посіб. Київ: Просвіта, 2011. 235 с.

15. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: підручник. Київ: Каравела, 2011. 384 с.

16. Корбутяк В. Д. Системи автоматичного регулювання: підручник. Київ: Каравела, 2012. 300 с.

17. Підкоритов М. І. Програмовані логічні контролери: навч. посіб. Київ: Просвіта. 2010. 310 с.