

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2018 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання мутності
питної води»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛТм-17

(шифр групи)

спеціальності 171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

Запороженко Володимир Михайлович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник професор кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

А.А. Зорі

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2018 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

_____магістра_____

Тема: «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання мутності
питної води»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТм – 17

_____Запорожченко В.М.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

_____проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

_____проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

_____проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

_____доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.П)

_____ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Нормоконтроль

_____проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Покровськ – 2018

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

« » 2018 року

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

Запорожченко Володимира Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження електронної системи вимірювання мутності питної води

керівник проекту (роботи) Зорі Анатолій Анатолійович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 08.10.2018 року № 718

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз технічних характеристик об'єкту; математична модель вимірювального каналу; обґрунтування та розробка структури електронної системи; розробка структурної та принципової схем мікропроцесорного блоку

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
2	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
3	д.т.н., доц., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
4	к.т.н., доц. каф. ЕТ Лактіонов І.С.		
А	ст. викл каф. ОП Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз характеристик і параметрів якості питної води, огляд методів та засобів їх контролю		
2	Практичні аспекти визначення мутності води		
3	Розробка та обґрунтування структури електронної системи вимірювання мутності питної води		
4	Проектування блоків і вузлів електронної системи вимірювання мутності питної води		
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

(підпис)

Запорожченко В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Зорі А.А.

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Запорожченко, В.М. Розробка та дослідження електронної системи вимірювання мутності питної води / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2018.

Пояснювальна записка: 95 стор., 15 рис., 3 табл., 26 посилання.

Запропоновано використовувати декількох датчиків розсіяного світла під різними кутами, що підвищує точність визначення мутності, бо частинки різного розміру відбивають світло під різними кутами не рівномірно. Розроблена математична модель вимірювального каналу мутності питної води, яка враховує вплив дестабілізуючих факторів на параметри оптоелектронного вимірювача, що дозволило оцінити метрологічні характеристики вимірювальної системи для реальних умов експлуатації.

Ключові слова: вимірювання, мутність, концентрація, домішки, похибка, електронна система, точність, оптико-електронний компонент, вимірювальний канал.

Перелік публікацій:

1. Запорожченко, В.М. Розробка та обґрунтування структури електронної системи вимірювання мутності питної води / В.М. Запорожченко, А.А. Зорі // Зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених «Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології», 29-30 лист. 2017 р. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – С. 20 – 23.

2. Запорожченко, В.М. Розробка математичної моделі оптико-електронного вимірювального каналу мутності питної води / В.М. Запорожченко, А.А. Зорі // Зб. наукових праць IV Всеукр. наук.-техн. конф. молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ-2018), 22 – 23 травн. 2018 р. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. – С. 96 – 99.

ABSTRACT

Zaporozhchenko, V.M. Development and research of the electronic measuring system of the drinking water turbidity / Graduation qualification work for obtaining an educational degree 'Master' in specialty 171 Electronics. – SHEI 'DonNTU', Pokrovsk, 2018.

Explanatory note: 95 p., 15 fig., 3 tables, 26 references.

It is proposed to use several scattered light sensors at different angles, which increases the accuracy of the definition of turbidity, because particles of different sizes reflect light at different angles not evenly. The mathematical model of measuring channel of turbidity of drinking water is developed, which takes into account the influence of destabilizing factors on the parameters of the optoelectronic meter, which allowed to evaluate the metrological characteristics of the measuring system for real operating conditions.

Key words: measurement, turbidity, concentration, impurities, error, electronic system, accuracy, opto-electronic component, measuring channel.

List of publications:

1. Запорожченко, В.М. Розробка та обґрунтування структури електронної системи вимірювання мутності питної води / В.М. Запорожченко, А.А. Зорі // Зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених «Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології», 29-30 лист. 2017 р. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – С. 20 – 23.

2. Запорожченко, В.М. Розробка математичної моделі оптико-електронного вимірювального каналу мутності питної води / В.М. Запорожченко, А.А. Зорі // Зб. наукових праць IV Всеукр. наук.-техн. конф. молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ-2018), 22 – 23 травн. 2018 р. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. – С. 96 – 99.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ, ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЇХ КОНТРОЛЮ.....	13
1.1 Аналіз показників якості питної води.....	13
1.1.1 Фізико-хімічна характеристика природних вод.....	13
1.1.2 Класифікація природних вод.....	15
1.1.3 Хімічні інгредієнти природних вод та їх значення для оцінки якості води.....	17
1.1.4 Мутність води.....	23
1.1.5 Кольоровість води.....	24
1.1.6 Запах і смак води.....	25
1.1.7 Температура води.....	25
1.1.8 Хімічні компоненти, що впливають на органолептичні якості води.....	26
1.1.9 Показник рН.....	26
1.1.10 Твердість води.....	27
1.2 Аналітичний огляд методів визначення мутності питної води.....	27
1.2.1 Нефелометричний метод вимірювання мутності.....	27
1.2.2 Сучасні методи вимірювання мутності.....	32
2 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ МУТНОСТІ ВОДИ.....	35
2.1 Калібрування та повірка мутномірів.....	35
2.2 Проблема стороннього світлорозсіювання при визначенні мутності	36
2.3 Визначення гранично-низьких концентрацій.....	39
2.4 Точність турбідиметру в області низьких значень.....	41
2.5 Визначення великих значень мутності.....	42
2.6 Мутність і вміст зважених речовин.....	44
2.7 Постановка задачі досліджень.....	46

3 РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ МУТНОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ.....	48
3.1 Розробка структурної схеми електронної системи вимірювання мутності питної води.....	48
3.2 Математична постановка задачі вимірювання мутності питної води.	52
4 ПРОЕКТУВАННЯ БЛОКІВ І ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ МУТНОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ.....	56
4.1 Розрахунок вихідного кола фотодіода.....	56
4.2 Розрахунок попереднього підсилювача фотодіода вимірювального каналу мутності питної води.....	60
4.3 Розрахунок передкрайового каскаду підсилювача вимірювального каналу мутності питної води.....	67
4.4 Розрахунок нормуючого каскаду підсилювача вимірювального каналу мутності питної води.....	70
4.5 Розробка конструкції електронної системи вимірювання мутності питної води.....	75
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП	– аналого-цифровий перетворювач;
ДВ	– джерело випромінювання;
ДЖ	– джерело живлення;
ДОН	– джерело опорної напруги;
ДС	– джерело струму;
К	– ключ;
МП	– мікропроцесор;
НП	– нормуючий підсилювач;
ОК	– оптичний канал;
ПІ	– пристрій індикації;
ПК	– персональний комп'ютер,
ПКП	– передкрайовий каскад підсилювача;
ППФ	– попередній підсилювач сигналу фотодіода;
СВД	– світловипромінюючий діод;
СК	– сигнал керування;
ФПП	– фотоприймальний пристрій.

ВСТУП

Актуальність теми. Найбільша екологічна катастрофа – це забруднення природних вод. Використана людиною вода повертається в природне середовище. Але це вже не чиста вода, а побутові, промислові та сільськогосподарські стічні води, зазвичай неочищені або очищені недостатньо. Таким чином відбувається забруднення прісноводних водоймищ – річок, озер, суші та прибережних ділянок морів.

Забруднення водойм відбувається як природним, так і штучним шляхом. Забруднення надходять з дощовими водами, змиваються з берегів, а також утворюються в процесі розвитку і відмирання тваринних і рослинних організмів, що у водоймі. Природне забруднення природних вод виникає в результаті природних процесів, без будь якої участі або впливу людини. Джерелами забруднень вод можуть бути: атмосферні опади, з якими надходять різні забруднювачі антропогенного характеру з повітря і ґрунтів; міські стічні води, що містять фекалії, детергенти (миючі засоби), патогенні мікроорганізми; стічні води різних галузей виробництва. Таким чином, задача побудови засобів вимірювального контролю характеристик і параметрів питної води є актуальною.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення чутливості й точності вимірювання мутності питної води за вдяки використанню додаткового вимірювального каналу розсіяного світла під кутом 90° .

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

- виконати аналіз характеристик і параметрів якості питної води;
- провести аналітичний огляд методів і засобів контролю параметрів якості питної води;
- проаналізувати практичні аспекти визначення мутності води;
- розробити структурну схему електронної системи вимірювання мутності питної води;

- розробити математичну модель визначення мутності питної води;
- виконати проектування блоків і вузлів електронної системи вимірювання мутності питної води.

Об'єкт дослідження: процеси, що протікають у вимірювальному каналі мутності питної води.

Предмет дослідження: підвищенні точності вимірювання мутності питної води.

Методи дослідження базуються на положеннях теорії інформаційно-вимірювальних приладів та систем, теорії вірогідності та математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії планування наукового експерименту, комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Запропоновано використовувати декількох датчиків розсіяного світла під різними кутами, що підвищує точність визначення мутності, бо частинки різного розміру відбивають світло під різними кутами не рівномірно.

2. Розроблена математична модель вимірювального каналу мутності питної води, яка враховує вплив дестабілізуючих факторів на параметри оптоелектронного вимірювача, що дозволило оцінити метрологічні характеристики вимірювальної системи для реальних умов експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблені основи методики інженерного проектування каналів електронної системи вимірювання мутності питної води.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи магістра одержані автором самостійно. Автором особисто розроблено: спосіб побудову електронної вимірювальної системи з двома датчиками розсіяного світла під різними кутами; математична модель вимірювального каналу мутності питної води; інженерний розрахунок блоків і вузлів вимірювального каналу мутності питної води.

Апробація результатів роботи. Основні розділи роботи пройшли апробацію на наступних науково-технічних конференціях: III Всеукраїнська

науково-практична конференція молодих вчених «Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології» (м. Покровськ, 29 – 30 листопада 2017 р.); IV Всеукраїнська науково-технічна конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (м. Покровськ, 22 – 23 травня 2018 р.), а також на наукових семінарах кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ, 2017 – 2018 рр.).

Публікації. За результатами кваліфікаційної роботи опубліковано 2 друковані роботи.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура кваліфікаційної роботи магістра визначена загальною схемою наукового дослідження, метою досліджень та шляхами її досягнення. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи містить 95 сторінок машинописного тексту, зокрема 79 сторінок основного тексту, 15 рисунків, 3 таблиці та список використаних джерел із 26 найменувань.

1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ, ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЇХ КОНТРОЛЮ

1.1 Аналіз показників якості питної води

1.1.1 Фізико-хімічна характеристика природних вод

«Природні води є складні системи, які містять розчинені речовини у вигляді іонів і молекул, мінеральні та органічні сполуки у формі колоїдів, суспензій та емульсій. У воді розчинені гази, що входять до складу атмосфери, а також речовини, що утворюються у результаті життєдіяльності водних організмів і протікання процесів хімічної взаємодії води з оточуючим середовищем – гірничими породами, ґрунтом, атмосферою. При цьому протікають процеси» [1, 2]:

- розчинення сполук;
- хімічна взаємодія речовин з водою і водними розчинами;
- біохімічні реакції;
- колоїдно-хімічна взаємодія.

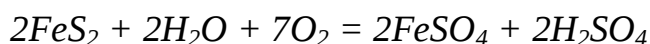
«Дія кожного з цих процесів взаємодії речовини з водою визначаються такими умовами, як температура, тиск, геологічні особливості» [3, 4]. На формування складу поверхневих, підземних, атмосферних вод помітно впливає діяльність людини.

Зміна складу води може спостерігатись при розбавленні, змішуванні вод різного складу, змін температури. Розчиненню гірничих і осадових порід допомагають хімічні реакції гідролізу, окисно – відновні, карбонізації, іонного обміну та ін. Карбонатні породи руйнуються під дією карбонатної кислоти, яка переводить важкорозчинні карбонати у більш розчинні гідрокарбонати. Так, наприклад, мінерал кальцит легко вивітрюється під дією карбонатної кислоти:

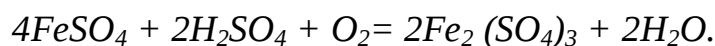


«Речовини, що розчинені у воді, можуть знаходитись у вигляді молекул (гази, деякі органічні речовини), простих і комплексних іонів, іони у водних розчинах гідратовані, вони можуть утворюватись аквакомплекси типу $[Cu (H_2O)_3 OH]^+$. Можливі також утворення комплексних сполук катіонів та аніонів» [3, 4].

«Розчинність сполук у природних водах більша, ніж у дистильованій воді. Так, розчинність кальцій карбонату у морській воді (при концентрації хлоридів 19 г/кг і 20°C) майже у 500 разів більша ніж у дистильованій. Під час окислення мінералів головна роль належить кисню. Так пірит окислюється у вологому повітрі за рівнянням» [3, 4]:



і далі



Беручи до уваги також і гідроліз утвореної солі ферум (III) сульфату, легко пояснити причину високої кислотності джерельної води, рН якої може бути < 3. У цих водах можуть розчинятися такі мінерали, як апатит, карбонати, сульфіді, алюмосилікати, боксити і навіть магнетит. При розчиненні апатиту за наявності сульфатної кислоти утворюються фосфатна і фторидна кислоти. Остання сприяє появі у природних водах фторидів.

«Агресивними по відношенню до деяких мінералів є і лужні розчини, які виникають, наприклад, при розкладі нефеліну $NaAlSiO_4$ під дією води і карбон (IV) оксиду» [3 – 5]:



Лужні розчини викликають розчинність амфотерних оксидів (Al_2O_3 , BeO) і силікатів. Вода, що бере участь у реакціях гідролізу, зумовлює перехід у розчинні форми таких мінералів, як алюмосилікати.

У формуванні складу природних вод важлива роль належить процесу обміну між іонами, що містяться у воді та іонами, що входять до складу алюмосилікатів ґрунту. У результаті іонного обміну відбувається розділення калію і натрію. Калій поглинається ґрунтом, а натрій не затримується і завжди значно переважає у природних водах.

1.1.2 Класифікація природних вод

Класифікацію природних вод виконано В.І. Вернадським, «згідно з якою виділено 485 видів вод з урахуванням солевмісту, переважаючого іону чи групи іонів, наявності специфічних компонентів. За солевмістимістю (г/кг) природні води поділяються на такі види як» [1, 2]:

- прісні до 1;
- солонуваті 1–25;
- води з морською солоністю 25–50;
- солоні води > 50.

«Достатньо повною класифікацією природних вод за хімічним складом є класифікація запропонована О.А. Алексіним. Згідно класифікації природні води за переважаючим аніоном поділяються на три класи» [1, 2]:

- карбонатний чи гідрокарбонатний;
- сульфатний;
- хлоридний.

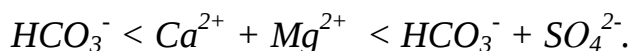
За переважаючим аніоном класи поділяються на групи:

- кальцієву;
- магнієву;
- натрієву.

Групи у свою чергу поділяються на типи, які вказують на співвідношення між іонами. Перший тип характеризується таким співвідношенням:



«Сюди відносяться м'які води з невеликим солевмістом з переважанням іонів Na^+ і K^+ . Для другого типу виконується співвідношення» [3 – 5]:



«Склад цих вод формується при контакті їх з осадовими породами і продуктами вивітрювання. До цих вод належить більшість річок, озер і підземних вод з малим і середнім солевмістом. У водах, які відносяться до третього типу, спостерігається співвідношення між іонами: $HCO_3^- + SO_4^{2-} < Ca^{2+} + Mg^{2+}$ чи $Cl^- > Na^+$. До цього типу належать води морів та океанів, сильномінералізованих підземних джерел. До четвертого типу відносяться кислі води ($HCO_3^- = 0$). Вони можуть бути тільки у сульфатному і хлоридному класах, у групах Ca і Mg . За цієї класифікації можна коротко охарактеризувати склад води формулою: належність до класу вказується символом елемента, що входить у склад переважаючого аніону. Справа, зверху від нього пишеться хімічний символ переважаючого катіона, тобто визначається група. Справа, унизу від символу класу римською цифрою визначається тип» [3 – 5].

«Концентрація головних іонів у природних водах залежить від солевмісту. Вміст іонів лімітується утворенням важкорозчинних сполук. Зміна складу окремих іонів у воді в залежності від солевмісту наведено в таблиці 1.1» [3 – 5].

Таблиця 1.1 – Зміна складу окремих іонів у воді в залежності від солевмісту

Солевміст г/л (кг)	Переважаючі іони
< 0,06	Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+}
> 2,0	SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+}
> 168,3	HCO_3^- , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+}
> 193,9	Na^+ , Cl^- , Mg^{2+}
> 328,6	Cl^- , Mg^{2+}

1.1.3 Хімічні інгредієнти природних вод та їх значення для оцінки якості води

«Хімічні компоненти природних вод умовно поділяють на п'ять груп (О.А. Алексін)» [3 – 5]:

- 1) головні іони;
- 2) розчинені гази;
- 3) біогенні речовини;
- 4) мікроелементи;
- 5) органічні речовини.

«Головні іони. У природних водах встановлено присутність більше 70 хімічних елементів. Найбільш поширеними є такі аніони як: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , HSiO_3^- і катіони: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Fe^{2+} . Вміст головних іонів у прісних водах складає (90 – 95)% від загального солевмісту» [3 – 5].

«У природних водах постійно присутні іони Ca^{2+} і Mg^{2+} , які зумовлюють загальну твердість води. Головне джерело потрапляння їх у воду – розчинення порід, які містять вапно, гіпс, доломіт, складні алюмосилікати» [3 – 5].

«Іони Ca^{2+} характерні для мало і середньомінералізованих вод. При підвищенні солевмісту до 1 г/кг концентрація іонів Mg^{2+} збільшується. У мінералізованих водах вони стають переважаючими, що пов'язано з кращою розчинністю у воді солей магнію. У санітарно-гігієнічному відношенні іони Ca^{2+} і Mg^{2+} не є особливо небезпечними, але значна твердість робить воду непридатною для господарчо-побутових і промислових потреб» [3 – 5].

«Іони Na^+ і K^+ зустрічаються майже у всіх природних водах. Солі натрію, присутні у водяній парі, зумовлюють пінні перетворення солей. Останнє робить небажаною їх присутність у воді, яка йде для живлення парових котлів середнього і високого тиску» [3 – 5].

Гідрокарбонат-іон часто переважає у прісних водах. Наявність його у природних водах пов'язана з розчиненням карбонатних порід під дією CO_2 . Іон HCO_3^- стійкий у природних водах в інтервалі значень pH від 4,2 до 12. Разом з

іонами Ca^{2+} , Mg^{2+} він зумовлює карбонатну твердість води. Для більшості природних вод вміст гідрокарбонат-іону (Mg – екв/л) характеризує їх загальну лужність.

«Іони SO_4^{2-} надходять у природні води в процесі розчинення гіпсових порід, мірабіліту, окиснення сульфідів, сірки і органічних речовин, які містять сірку. Вміст сульфат-іону лімітується у питній воді; так, при концентрації більш 500 мг/л у людини може виявитись розлад діяльності шлунково-кишкового тракту. В промислових умовах значний вміст сульфатів у воді сприяє виникненню корозії бетону. Вміст сульфат-іонів може бути достатньо високим у водах атмосферних опадів внаслідок забруднення повітря промисловими викидами» [3 – 5].

«Хлориди за загальним вмістом у природних водах займають перше місце серед аніонів. Вміст їх коливається від десятих до тисячі мг/л і більше. У прісних водах їх концентрація звичайно невелика. Вони з'являються у природних водах при розчиненні гірських порід, які містять хлориди, викидаються у великій кількості при виверженні вулканів. Хлориди – постійний компонент побутових стічних вод і стоків деяких підприємств. При концентрації хлорид-іону вище 300 мг/л у воді з'являється солонуватий смак. Крім того, хлориди посилюють корозію заліза у воді, можуть бути непрямим показником забруднення водою стічними водами» [3 – 5].

«Розчиненні гази. Вміст кисню у поверхневих водоймах визначається надходженням його з повітря. Він залежить також від пори року, глибини водоймища, умов репарації, життєдіяльності водних макро- і мікроорганізмів. Зниження концентрації розчиненого кисню може вказувати на забруднення водоймища органічними сполуками. Максимум вмісту розчиненого кисню спостерігається літом у період інтенсивної фотосинтезуючої діяльності рослинних організмів. У зимовий період різко зменшується через труднощі реакції і у зв'язку з надходженням практично тільки підземних вод, які майже не містять кисню» [3 – 5].

Розчинений у воді кисень надає її освіжаючий смак. Завдяки високій

хімічній активності кисень посилює корозію металів.

«Вуглекислий газ. Цей газ знаходиться у воді як і у розчиненому вигляді, так і у формі карбонатної кислоти. Сумарний вміст $CO_2 + H_2CO_3$, який визначається при аналізі води, узагальнюється «вільна карбонатна кислота». Основним джерелом CO_2 у поверхневих водах є біохімічні процеси розкладу органічних речовин. Крім того, він потрапляє у водойми з поверхневими водами, а також поглинається водою з повітря. Велика кількість CO_2 міститься у воді Світового океану; вона у 60 разів перевищує його кількість у атмосфері. Карбон (IV) оксид необхідний для забезпечення життєдіяльності водних рослинних організмів. Режим зміни вмісту CO_2 у воді є протилежним аналогічному процесу для кисню. У поверхневих водах вміст CO_2 зазвичай складає (0,5 – 2), максимум (20 – 30) мг/л. У підземних водах його концентрація є вищою. Вміст CO_2 у воді залежить від солевмісту, pH , температури, концентрації іонів Ca^{2+} і характеризується карбонатною рівновагою. При концентрації двооксиду карбону у воді вище рівноваги з'являється агресивна дія його по відношенню до бетону і заліза» [3 – 5].

«Сірководень. Води, що не містять розчиненого кисню, сприяють виникненню умов для появи сірководню. Він утворюється в результаті розчинення сульфідних мінералів під дією карбонатної кислоти, при біохімічному розкладі органічних сполук, які містять сірку за відсутності кисню. Так як сірководень є токсичною сполукою і надає воді неприємного запаху, який виявляється вже при концентрації його у воді більше 0,3 мг/л, то наявність H_2S у питній воді не допускається. Крім того, сірководень викликає корозію заліза і сприяє розвитку сіркобактерій. Крім розчиненого сірководню у воді можуть знаходитись сульфід S^{2-} і гідросульфід іони HS^- , так як розчин сірководню проявляє властивості слабкої кислоти. При pH (5 – 9) у воді присутній сірководень у рівновазі з гідросульфід-іоном. При $pH < 5$ у воді знаходиться тільки сірководень, а сульфід-іони з'являються у лужному середовищі ($pH > 9$)» [3 – 5].

«Біогенні речовини. До цієї групи відносять сполуки, що необхідні для

життєдіяльності водних організмів, які утворюються ними у процесі обміну речовин. Це, у першу чергу, мінеральні і органічні сполуки Нітрогену. Органічні форми Нітрогену представлені білками і продуктами їх розкладу. Неорганічні сполуки Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) можуть утворюватись при розкладі нітрогеновмісних органічних сполук або потрапляють у поверхневі води з атмосферними опадами, при вимиванні добрив із ґрунту. Вміст і переважання різноманітних форм залежить від умов потрапляння нітрогеновмісних сполук у воду, режиму водоймища. У паводковий період спостерігається збільшення концентрації органічних форм Нітрогену, унаслідок змиву органічних залишків з поверхневого шару ґрунту, влітку розчинені сполуки Нітрогену споживаються водними організмами і вміст їх у воді знижується. Нітрити (NO_2^-) є проміжною формою окислення амонійного Нітрогену в нітрати (NO_3^-). Їх вміст у природних водах, як правило, незначний. Концентрація нітратів у чистих водоймах також оцінюється сотими, десятими долями мг/л. Але деколи, наприклад, при змиванні добрив, може сягати 10 мг/л і більше. Амонійні сполуки звичайно містяться у воді в малих кількостях (соті, десяті долі мг/л)» [3 – 5].

Перевага тієї чи іншої форми вмісту неорганічного Нітрогену може бути використана для визначення часу, який пройшов з моменту забруднення водойми органічними сполуками. Якщо забруднення недавнє, то у воді міститься переважно амонійний Нітроген, а присутність у воді нітратів вказує на те, що процеси розкладу органічних домішок закінчуються. Наявність сполук Нітрогену у воді, що використовуються для промислового водопостачання є небажаною, так як вони сприяють розвитку мікроорганізмів у трубах, басейнах.

Важливим біогенним елементом є фосфор. Концентрація сполук фосфору у чистих водоймах незначна (тисячні, соті долі мг/л). Це – мінеральні форми фосфору складу ($H_2PO_4^-$ і HPO_4^{2-}) і органічні сполуки. Збільшення концентрації фосфатів до декількох міліграмів у літрі води сприяє масовому розвитку мікроорганізмів у трубопроводах розподільної мережі і водорослів у водоймах.

Сполуки феруму (II) містяться тільки у підземних водах. Вони потрапляють у воду при розчиненні залізовмісних порід під дією кислот (карбонатної та інших). У поверхневих водах концентрація сполук ферума (II) незначна унаслідок повного гідролізу солей. При концентрації іонів заліза більше 0,3 мг/л у воді з'являється залізний присмак, а у трубопроводах можливий розвиток залізобактерій. Іони феруму поруч з іонами Ca^{2+} і Mg^{2+} обумовлюють твердість води.

Сполуки силіцію зустрічаються у природних водах у формі різних мінеральних і органічних сполук. Це – силікатна кислота, її солі, а також частки різних алюмосилікатів у колоїдному і зваженому стані та органічні сполуки силіцію. Концентрація силіцію у природних водах зазвичай не перевищує декілька міліграмів у літрі, але у деяких водах північних річок вона є вищою і може сягати десятків мг/л. Сполуки силіцію викликають утворення на стінках теплообмінної апаратури накип, що важко видаляється, і має низьку теплопровідність.

Органічні речовини. Основну частину органічних речовин природних вод складають гумусові сполуки, що утворюються при розкладі рослинних залишків. Водний гумус містить в основному лігно-протеїнові сполуки. У його склад входять також вуглеводи, жири і віск.

Кількість органічних речовин у воді характеризується величиною окиснюваності, тобто кількістю кисню, який використовується на окиснення домішок сильними окисниками ($KmnO_4$, $K_2Cr_2O_7$). У чистих водах окиснення складає від 1 до 4 мг/л O_2 . Окисненість вище 10 мг/л O_2 може вказувати на забруднення водою стічними водами.

Мікроелементи. Елементи, вміст яких у воді складає менше 1 мг/л відносяться до групи мікроелементів. Мікроелементи у природних водах можуть знаходитися у вигляді іонів, молекул, колоїдних часток входити у склад мінеральних і органічних комплексів. Алексін виділяє наступні групи мікроелементів:

– типові катіони (Li^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ba^{2+} , Sr^+ та ін.);

- іони важких металів (Cu^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} , Cd^{2+} та ін.);
- амфотерні комплексоутворювачі (Cr, Mo, V та ін.);
- типові аніони (I^- , F^- , Br^- та ін.);
- радіоактивні елементи.

«Важливе гігієнічне значення мають сполуки йоду і фтору. Сполуки йоду містяться у поверхневих водах у кількості декількох тисячних долей мг/л. Концентрація йоду у морських водах обчислюється сотими долями мг/л. При недостатній кількості йоду у питній воді спостерігається порушення діяльності щитовидної залози (ендемичний зоб). Для профілактики жителі районів з такою водою мають отримувати потрібну кількість йоду з кухонною сіллю. При вмісті йоду від 0,0001 до 0,001 мг/л захворювання спостерігається у (15 – 30) людей з тисячі, а при концентрації йоду від 0,0014 до 0,01 мг/л лише у одного з тисячі. У воді йод знаходиться зазвичай у формі йодид-іону» [3 – 5].

Флуор у природних водах зустрічається у формі фториду-іону. Його вміст змінюється від сотих долі до десяти мг/л і більше. Концентрація флуору у водах України складає від 0,01 до 12 мг/л. Сполуки флуору приймають активну участь у процесах мінералізації тканин і зубів. При недостатньому вмісті флуору у питній воді спостерігається карієс зубів, а при надлишку розвивається захворювання – флюориз (плямиста емаль). Вода з підвищеним вмістом флуору зустрічається значно рідше, ніж вода з малою концентрацією.

Природні води містять іони та інших мікроелементів, які можуть бути природними компонентами чи з'являтися у водоймах у результаті практичної діяльності людини.

Вибір і оцінка якості джерела водопостачання базуються на результатах вивчення його санітарного стану. При цьому досліджуються можливі джерела забруднення водоймища, проводиться хімічний і бактеріологічний аналіз води, вказуються заходи, що спрямовані на очищення водоймища, розглядаються можливі методи очистки води і дається їх техніко-економічне обґрунтування.

В Україні на сторожі чистоти води стоїть ГОСТ 2874-82 «Вода питна», який характеризується комплексним підходом до оцінки якості питної води. В

ньому записано: «Властивості води мають задовольняти приведеним в стандарті нормам, які забезпечують безпеку в епідемічному відношенні; нешкідливість хімічного складу і сприятливі органолептичні властивості».

Показники якості питної води класифікують за трьома групами:

- органолептичні;
- токсичні хімічні з'єднання;
- бактеріологічні.

Визначення органолептичних показників не обмежується тільки інтенсивністю їх дії на органи чуття, а для ряду сполук вказуються гранично допустимі концентрації ГДК їх у воді, перевищення яких погіршує органолептичні властивості води.

1.1.4 Мутність води

«Грубодиспергійовані домішки (частинки діаметром більш 100 нм) зумовлюють мутність води. Вона може зумовлюватись присутністю таких неорганічних часток, як пісок, глина і деяких органічних компонентів. Наприклад, продуктів розпаду рослинних і тваринних організмів. Мутність є характерною для поверхневих вод водоймищ з достатньо високою швидкістю течії» [6, 7].

«Величина мутності залежить від характеру кліматичних і погодних умов. Максимальна мутність води спостерігається перед паводками і під час паводків. Мутність води досягається при цьому тисячі мг/л і більше.

Мутність води визначають гравіметричним і нефелометричним методами. Гравіметричний метод базується на зважуванні осаду, просушеного до постійної маси разом із фільтром при 105°C. Осад отримують після пропущення через фільтр визначеного об'єму води. Цей метод точний, але потребує багато часу для виконання. В практиці водоочищення поруч з цим використовується візуальний і фотоелектроколориметричний (нефелометричний) методи» [6, 7].

Візуальний метод заснований на порівнянні мутності досліджуваної води із стандартними зразками.

Фотоелектроннефелометричний метод визначення мутності базується на здатності зважених частинок розсіювати світло. Фіксація інтенсивності світлового потоку проводиться за допомогою фотоелементів.

Вода, яка містить незначну кількість зважених часток, прозора. І саме тому якість такої води характеризується величиною оберненою до мутності – прозорістю. Прозорість води виражається висотою стовпчика води, через який продиляється «хрест» (товщина ліній 1 мм), нанесений чорною фарбою на білу фарфорову пластинку (метод визначення прозорості «за хрестом») чи визначений шрифт (визначення «за шрифтом»). Вода для господарсько-питного водопостачання, має мати прозорість «по хресту» не менше 300 см., «за шрифтом» не менше 30 см.

1.1.5 Кольоровість води

«Гумінові та фульвокислоти та їх розчинні солі (гумати і фульвати феруму), водорості, можуть надавати воді кольору. Інтенсивність «кольору» води характеризується кольоровістю. Кольоровість води визначається за платино-кобальтовою шкалою і виражається у градусах. Один градус такої шкали відповідає вмісту в 1 л розчину 2,49 мг $\times K_2 [PtCl_6]$ і 2,018 мг $Co Cl_2 \cdot 6H_2O$. Визначення кольоровості виконується колориметричним методом. Згідно ГОСТ 2874-82 кольоровість води не має перевищувати 20° за платиново-кобальтовою шкалою. В окремих випадках, за згодою органів санітарного нагляду допускається кольоровість до 35°. Інколи кольоровість води визначають за дихромат-кобальтовою шкалою, яку готують змішуванням розчину, який містить в 1 л. води 0,0875 г $K_2Cr_2O_7$ і 2 г $CoSO_4 \times 7 H_2O$, 1 мл H_2SO_4 ($S = 1,84$), і розчину, який містить 1 мл. H_2SO_4 ($S = 1,84$) в 1 л. води» [8, 9].

1.1.6 Запах і смак води

«Запах і смак води зумовлюються розчинними солями, газами, органічними з'єднаннями, які утворюються в процесі життєдіяльності водяних організмів. В залежності від походження запахів їх поділяють на природні та штучні. Природні запахи (рибний, болотяний та ін.) виникають у результаті життєдіяльності водяних організмів, а також при розкладі органічних речовин.

«Штучні запахи (фенольний та ін.) з'являються при забрудненні джерел стічними водами. Згідно ГОСТ 2874-82 визначення запаху проводиться при температурі води 20°C і при нагріванні до 60°C. При цьому дається якісна і кількісна характеристика. Визначення запаху й смаку проводиться органолептично; у води відмічають гіркий, солодкий, кислий чи солоний смак. Всі інші смакові відчуття визначають як присмаки» [8, 9].

«Кількісно запах і смак води оцінюються за п'ятибальною шкалою запахів і смаків, яку наведено в таблиці 1.2» [8, 9].

Таблиця 1.2 – Кількісна шкала оцінки запаху і смаку води

Бал	0	1	2	3	4	5
Інтенсивність запаху	ніякого	дуже слабкий	слабкий	помітний	виразний	дуже сильний

Інтенсивність запаху води має бути не більше 2 балів при 60°C. Смак води також не має бути більше 2 балів при 20°C.

1.1.7 Температура води

Температура води залежить від місцезнаходження джерела і значно коливається. Більшість джерел водопостачання має визначений діапазон коливання температури, що зумовлений кліматичними умовами. Найбільш сприятливою є температура питної води (7 – 12)°C.

1.1.8 Хімічні компоненти, що впливають на органолептичні якості води

«Хімічні сполуки, які містяться у питній воді, при досяганні граничної концентрації можуть сильно змінювати органолептичні якості води й погіршувати її якість. Тому ГОСТ 2874-82 передбачає гранично допустимі концентрації (ГДК) таких компонентів чи регламентується визначений показник якості води. Перш за все – загальний солевміст чи мінералізація води. Мінералізована вода, що містить більше 1 г розчинних солей, має солонуватий чи в'язучий присмак, гірше вгамовує спрагу, є обмежено-придатною для господарсько-побутових потреб» [8, 9].

«Загальний вміст нелетких мінеральних і органічних сполук в питній воді характеризується величиною сухого залишку, який утворюється після випаровування і висушування до постійної маси (105°C) профільтрованої проби води» [8, 9].

«При використанні цієї методики визначення в отриманий результат включаються й колоїдні домішки води, так як вони не видаляються фільтруванням. Маса сухого залишку згідно ГОСТу 2874-82 не має перевищувати 100 мг/л» [8, 9].

Крім цього показника використовуються також й інші: «загальний вміст домішок», «розчинені речовини». Визначення загального вмісту домішок відрізняється від визначення сухого залишку тим, що воно проводиться з не фільтрованою водою, тобто в цей показник включаються і зважені речовини. Показник «розчиненні речовини» ідентичний сухому залишку. Прожарюванням висушених осадів при 600°C визначаються показники: «залишок» після прожарювання і «втрати при прожарюванні».

1.1.9 Показник рН

Важливим показником чистоти і властивостей складу води є *pH*. Згідно ГОСТу 2874-82 допускаються коливання *pH* в межах 6,5 до 8,5. Відхилення *pH*

від цих значень вказує на порушення стабільності води і можливе її забруднення.

1.1.10 Твердість води

Іони Ca^{2+} і Mg^{2+} характеризують загальну твердість. Помірно тверда вода не шкідлива в гігієнічному аспекті, так як з водою в організм потрапляє (20 – 30)% кальцію, необхідного для підтримки в нормі обміну речовин в організмі. В цьому відношенні м'яка мало мінералізована вода є менш бажаною. Гідрокарбонатнокальційована вода середньої твердості найбільш приємна на смак. Згідно ГОСТу 2874-82 загальна твердість питної води має бути не більше 7 мг-екв/л.

1.2 Аналітичний огляд методів визначення мутності питної води

1.2.1 Нефелометричний метод вимірювання мутності

«З часом потреба в прецизійному визначенні низьких значень мутності в зразках, що містять суспензії дуже дрібних частинок, зажадала поліпшення характеристик турбідиметрів. Факельний турбідиметр Джексона мав серйозні обмеження в застосуванні, оскільки не міг використовуватися для визначення мутності нижче 25 JTU. Точно визначити мутність було вельми скрутно та визначення точки згасання сильно залежало від людини. Крім того, оскільки джерелом світла в приладі Джексона було полум'я свічки, яке падає, світло знаходилося переважно в довгохвильовій області спектру, де розсіювання на дрібних частинках не ефективне. З цієї причини пристрій був нечутливий до суспензій дуже дрібних частинок. За допомогою факельного турбідиметру неможливо також визначити мутність, яку викликано чорними частинками, оскільки поглинання світла такими частинками настільки більше розсіяне, що

поле зору ставало чорним до того, як досягалася точка згасання» [6, 7].

Було розроблено декілька турбідиметрів, які працюють на визначенні згасання, з вдосконаленими джерелами світла і методиками порівняння, але похибка визначення людиною призводила до недоліку точності. Фотодетектори чутливі до найменшої зміни інтенсивності освітлення. Вони стали широко використовуватися для вимірювання ослаблення світла, що проходить через зразок фіксованого об'єму. Пристрої забезпечували за певних умов набагато більшу точність, але не могли визначити високу або гранично-низьку мутність. При низькому ступені розсіювання зміна в інтенсивності світла, що пройшло, яке вимірювалося в одній точці, настільки мало, що практично нічим не детектується. Зазвичай сигнал просто втрачався в шумі електронних компонентів. На великих концентраціях множинне розсіювання взаємодіяло з простим розсіюванням.

«Розв'язання проблеми полягає в тому, щоб визначати кількість світла, яке розсіяно під кутом до падаючого світла, а потім співвідносити кількість розсіяного під кутом світла з реальною мутністю зразка. Вважається, що кут в 90° дозволяє забезпечити найбільшу чутливість до розсіювання на частинках. Більшість сучасних пристроїв визначає розсіювання під кутом 90° (див. рис. 1.1)» [6, 7]. Такі пристрої називаються нефелометрами або нефелометричними турбідиметрами, щоб показати їх відмінність від звичайних турбідиметрів, які визначають співвідношення між кількістю минулого і поглиненого світла.

Завдяки своїй чутливості, точності та застосування в широкому діапазоні розмірів і концентрацій частинок, нефелометр був визнаний в Стандартних методах як переважний пристрій для визначення мутності. Також переважними одиницями вираження мутності стали нефелометричні одиниці мутності NTU. У опублікованих американським Управлінням з довкілля охорони Методах хімічного аналізу води і стоків нефелометричний метод також визначає нефелометрію як метод визначення мутності.

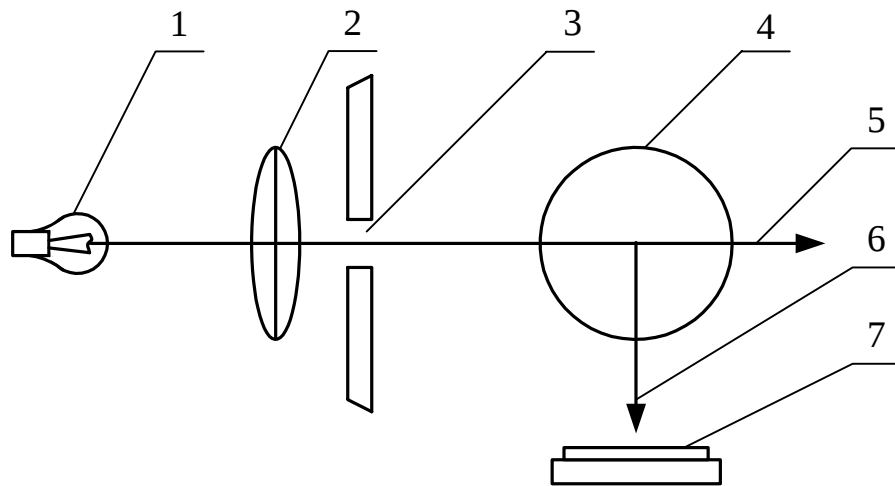


Рисунок 1.1 – У нефелометричних вимірюваннях мутності визначається за світлом, розсіяно під кутом 90°

На рисунку 1.1 позначено: 1 – лампа; 2 – лінза; 3 – щілина; 4 – скляна вимірювальна комірка; 5 – світло, що пройшло; 6 – розсіяне світло під кутом 90° ; 7 – детектор.

«Нефелометричний метод визначення концентрації заснований на вимірюванні інтенсивності світла, що розсіяно зваженими частинками. Інтенсивність розсіяного світла підкоряється закону Релея» [10 – 12]:

$$I_H = I_0 \left[\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2} \cdot \frac{N \cdot v^2}{\lambda^4 \cdot l^2} \right] \cdot (1 + \cos^2 \beta), \quad (1.1)$$

де I_H та I_0 – інтенсивності розсіяного та падаючого світла; n_1 і n_2 – коефіцієнти заломлення частинок і середовища; N – загальна кількість частинок, що розсіює світло; v – об'єм однієї частинки; λ – довжина хвилі падаючого світла; l – відстань до приймача розсіяного світла; β – кут між падаючим і розсіяним світлом.

«В умовах нефелометричного визначення ряд величин залишається постійним та рівняння (1.1) переходить в» [10 – 12]:

$$I_H = I_0 \cdot k \cdot \frac{N \cdot \nu^2}{\lambda^4}, \quad (1.2)$$

де множник $1/\lambda^4$ вказує на швидке зростання інтенсивності розсіяного світла із зменшенням довжини хвилі падаючого світла.

Серйозне ускладнення в практиці нефелометрії полягає у тому, що інтенсивність розсіяного світла залежить від об'єму частинок. Велике значення у зв'язку з цим придбаває уніфікація методики приготування суспензії – строге дотримання концентраційних і температурних умов, порядку і швидкості змішення розчинів, введення захисних колоїдів і т.д. При строгому дотриманні цих умов об'єми частинок суспензії виходять приблизно однакові, і їх розмір цілком задовільно відтворюється від досвіду до досвіду.

«Концентрацію можна виразити числом частинок в одиниці об'єму» [8 – 9]:

$$C = \frac{N}{N_A \cdot V}, \quad (1.3)$$

де V – об'єм суспензії; N_A – постійна Авогадро.

Підставляючи (1.3) в (1.2), одержуємо:

$$I_H = I_0 \cdot k \cdot \frac{N_A \cdot C \cdot V \cdot \nu^2}{\lambda^4}, \quad (1.4)$$

При постійних V , ν , λ рівняння (2.4) приймає вигляд:

$$I_H = I_0 \cdot k' \cdot C, \quad (1.5)$$

або

$$I_H / I_0 = k' \cdot C. \quad (1.6)$$

Рівняння (1.6) показує, що відношення інтенсивності розсіяного світла до інтенсивності падаючого пропорційне концентрації зважених частинок. Калібрувальний графік в координатах I_H/I_0 як функція C буде лінійний. Проте іноді можна зустріти рекомендацію будувати калібрувальний графік в координатах $D_{КАЖ} - C$, де $D_{КАЖ}$ – так звана відносна або уявна оптична щільність, що розраховується як $D_{КАЖ} = -\lg(I_H/I_0)$. Така рекомендація дається, наприклад, в заводських описах деяких нефелометрів (НФМ та ін.). З (1.6) витікає, що

$$D_{КАЖ} = -\lg C - \lg k', \quad (1.7)$$

тобто $D_{КАЖ}$ зменшується із зростанням концентрації, що цілком зрозуміло, оскільки із збільшенням концентрації збільшується число частинок, що розсіює, та інтенсивність розсіяного світла зростає.

Відповідно до рівняння (1.7) графік в координатах $D_{КАЖ} - \lg C$ буде лінійний у протилежність графіку в координатах $D_{КАЖ} - C$.

Турбідиметричні методи засновані на вимірюванні інтенсивності світла I_t , яке пройшло через аналізовану суспензію. При достатньому розбавленні інтенсивність світла, що пройшло, підкоряється рівнянню:

$$\lg \frac{I_t}{I_0} = -klC, \quad (1.8)$$

де l – товщина шару; k – молярний коефіцієнт мутності розчину.

«У турбідиметрії застосовуються прийоми роботи і пристрої, які використовуються у фотометрії розчинів, найчастіший метод калібрувального графіка. Відомий також ряд методик турбідиметричного титрування. Турбідиметричне визначення зазвичай виконують за допомогою фотоелектричних колориметрів-нефелометрів (ФЕК-56-2, ФЕК-60 та ін.)» [12, 13].

Основною перевагою нефелометричних і турбідиметричних методів є їх висока чутливість, що особливо цінне по відношенню до елементів або іонів, для яких відсутні кольорові реакції. На практиці широко застосовується нефелометричне визначення хлориду і сульфату в природних водах та аналогічних об'єктах. По точності турбідиметрія і нефелометрія поступаються фотометричним методам, що пов'язано з труднощами отримання суспензій, які мають однакові розміри частинок, стабільністю в часі і т.д. До порівняно невеликих похибок фотометричного визначення додаються похибки, які пов'язані з недостатньою відтворністю хіміко-аналітичних властивостей суспензій.

1.2.2 Сучасні методи вимірювання мутності

Хоча до теперішнього часу розроблена безліч методів для визначення забруднень у воді, визначення мутності як і раніше важливе, оскільки мутність – це простий і неспростовний показник зміни якості води. Раптова зміна мутності може вказувати на додаткове джерело забруднення (біологічний, органічний або неорганічний) або сигналізувати про проблеми в процесі обробки води.

Сучасні інструменти повинні визначати мутність від гранично високих до гранично низьких значень в широкому діапазоні зразків з частинками різного розміру і складу. Можливість пристрою визначати мутність в широких межах залежить від конструкції пристрою. Нефелометр має три основні вузли: джерело світла, детектор розсіяного світла та оптичну геометрію. Відмінності в цих вузлах впливають на визначення мутності пристроєм. Більшість вимірювань проводиться в діапазоні 1NTU і нижче.

Джерела світла в нефелометрах. У даний час в мутномірах застосовуються різні джерела світла, але найпоширеніший – лампа розжарювання. Такі лампи мають широкий спектр, вони прості, недорогі та

надійні. Світло від лампи кількісно характеризується колірною температурою – температурою, яку повинне мати ідеально чорне тіло, щоб світитися таким же кольором. Колірна температура білого накаливання і, отже, спектр свічення лампи залежать від прикладеної до лампи напруги. Для стабільного білого свічення лампи потрібне добре регульоване джерело живлення.

У випадках, коли в зразку присутні частинки одного типу, або якщо потрібне джерело світла з відомими характеристиками, для нефелометрії можна використовувати монохроматичне джерело світла. Таке світло випромінює, наприклад, світлодіод. Світлодіод випромінює в дуже вузькій області спектру в порівнянні з нагрітою дочиста ниткою розжарювання. Оскільки у видимій області світлодіоди більш ефективні в порівнянні з лампами розжарювання, їм потрібна менша потужність для отримання світла тієї ж інтенсивності. Застосування джерел світла з вузькою спектральною характеристикою розширюється. Інші джерела світла, такі як лазери, ртутні лампи і комбінації лампа + фільтр, в нефелометрії застосовуються рідко.

Детектори. Після того, як світло з необхідними характеристиками взаємодіє із зразком, результат повинен бути зафіксований за допомогою детектора. У сучасних нефелометрах застосовується чотири типи детекторів: фотоелектронний помножувач (ФЕП), вакуумний фотодіод, кремнієвий фотодіод і фотоелемент (фоторезистор) на основі сульфиду кадмію.

Чутливість детекторів відрізняється в різних діапазонах довжин хвиль. Фотоелектронні помножувачі, які використовуються в нефелометрах, мають пік спектральної чутливості в синій області спектру і близьким ультрафіолеті.

Щоб забезпечити хорошу стабільність їм потрібне стабілізоване джерело високої напруги. Вакуумний фотодіод має схожу спектральну характеристику, але більш стабільну, ніж фотоелектронний помножувач.

Оптична геометрія нефелометрів. Третій компонент, що впливає на якість вимірювань нефелометрів це оптична геометрія, яка включає параметри конструкції пристрою, так, наприклад, кут детектування розсіяного світла. Відмінності в будові частинок викликає різну кутову інтенсивність розсіяння.

Майже всі нефелометри, які використовуються в аналізі води і стоків, мають кут аналізу, який дорівнює 90° . Крім того, що такий кут забезпечує меншу чутливість до зміни розміру частинок, прямий кут дає просту оптичну систему з малою кількістю стороннього світла.

Конструктивним параметром, що визначає, як чутливість, так і лінійність пристрою, є довжина оптичного шляху. Із зростанням оптичного шляху зростає чутливість, але падає лінійність значень через множинне розсіювання і поглинання. І навпаки, із зменшенням довжини оптичного шляху зростає лінійність, але падає чутливість пристрою в області низьких концентрацій (проблему можна розв'язати при застосуванні змінної довжини оптичного шляху). Короткий оптичний шлях також збільшує дію стороннього світла. USEPA і ICO вимагають, щоб довжина оптичного шляху не перевищувала 10 см (від нитки напруження до детектора).

Промислові НАСН турбідиметри ratio™ для досягнення максимальної стабільності використовують комбінацію оптичних пристроїв: детектор, який розташовано під кутом 90° , комбінацію детекторів світла, що минув шар речовини, прямого і зворотного розсіювання і дзеркала, що відображають тільки ІЧ-випромінювання.

2 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ МУТНОСТІ ВОДИ

2.1 Калібрування та повірка мутномірів

Процес калібрування та повірки мутноміра (нефелометра) в області низьких значень мутності дуже чутливий як до методики, так і до навколишніх умов. Коли вимірюваний рівень мутності падає до 1 NTU, перешкоди від міхурів і забруднень мало впливають при високих рівнях мутності, що може приводити до вимірювань з позитивними похибками і невірним результатом перевірки пристрою.

«Кореляція між мутністю і нефелометричним розсіюванням світла добре описується лінійною залежністю в діапазоні від 0,012 до 40,0 NTU. Ця залежність включає і область гранично-низьких значень мутності від 0,012 до 1,0 NTU. Чиста вода має мутність порядку 0,012 NTU. Лінійна залежність дозволяє використовувати для калібрування одну точку на весь діапазон від 0,012 до 40,0 NTU. При цьому обов'язково, щоб стандарти були приготовані з високою точністю. Щоб добитися високої точності калібрування в даному лінійному діапазоні, більшість турбідиметрів НАСН використовує формазіновий стандарт 20,0 NTU. Ця концентрація вибрана, оскільки» [6, 7]:

- такий стандарт легко точно приготувати з промислового концентрованого стандарту;
- такий стандарт залишається стабільним достатньо довго, щоб забезпечити точність при калібруванні;
- концентрація цього стандарту знаходиться у середині лінійного діапазону;
- помилки від забруднень і міхурів здійснюють менший вплив на точність калібрування при 20 NTU, ніж при низьких значеннях мутності калібрувального стандарту.

Калібрування турбідиметра з використанням стандартів з наднизькою

мутністю необов'язкове, але важливо підтвердити точність і лінійність вимірювань в області гранично низьких значень. Стандарти для перевірки калібрування з наднизькою мутністю використовують для перевірки характеристик пристроїв в нижній частині діапазону вимірювань.

Стабілізовані стандарти каламутності по формазіну StabCal™ приготовлений з низькою мутністю щоб використовуватися для перевірки калібрування в нижній частині діапазону вимірювань. Дані стандарти приготовані та упаковані в ретельно контрольованих умовах, щоб забезпечити максимальну точність, яка тільки можлива. Крім того, стандарти ретельно упаковані, щоб зробити мінімальним забруднення від сторонніх джерел.

Такі виняткові заходи необхідні, щоб досягти можливості найточнішої перевірки калібрування в діапазоні малих значень мутності. Одинична частинка пилу може викликати пік більш, ніж 0,030 NTU. Це може привести до похибки більш, ніж в 10 відсотків.

2.2 Проблема стороннього світлорозсіювання при визначенні мутності

Стороннє світло – джерело значних похибок при визначенні низької мутності. Стороннє світло потрапляє до оптичної систему, але походить не від зразка. Пристрій же однаково реагує на світло, яке розсіяне зразком і на світло від сторонніх джерел. Стороннє світло походить від різних джерел: від вимірювальних осередків з подряпанними або недосконалими стінками, від віддзеркалень усередині робочої камери, від лампи, яка дає світло, що розходить, від лінз та в малому ступені від електроніки. У конструкції пристрою використовуються лінзи, щілини, дзеркала, що відображають тільки ІЧ-випромінювання та різні світлові пастки для того, щоб зменшити вплив стороннього світла. Проте, існує джерело стороннього світла, яке неможливо усунути конструктивно – це пил, що потрапляє у вимірювальний осередок, в робочу камеру пристрою. З часом кількість стороннього світла в турбідиметрі зростає, оскільки забруднення пилом збільшує розсіювання світла. У

загальному випадку, в промислових турбідиметрах стороннього світла менше, оскільки в їх конструкції немає вимірювального осередку.

«На відміну від спектрофотометрії, дію стороннього світла не можна зменшити до нуля. Деякі виробники пропонують користувачу помістити у вимірювальну камеру зразок води «з нульовою мутністю» та обнулити пристрій шляхом підстроювання значень. Виконання цієї процедури залишить без уваги дещо важливі при визначенні мутності аспекти. По-перше, у воді, навіть відфільтрованій через кращі фільтри, завжди присутні частинки. Далі, молекули вода самі по собі розсіюють світло. Молекулярне розсіювання та присутність найдрібніших частинок вносять внесок в мутність будь-якого водного зразка. Якщо помістити зразок в круглий 1-дюймовий осередок, то найменше зміряне значення мутності складе від 0,010 до 0,015 NTU» [6, 7], залежно від оптичної системи, що використовується. Сам вимірювальний осередок виконує досить складну роль, світло, що розсіюється, на подрапинах і недосконалої поверхні та впливає на падаючий промінь. Вимірювальний осередок може також і сприяти фокусуванню променя, що в свою чергу, знижує кількість стороннього світла. Інший важливий фактор – це ряд змінних, які вводяться, при використанні декількох осередків. Другий вимірювальний осередок може (і швидше за все буде) мати абсолютно іншим розсіювання, ніж та, яка використовувалася для обнулення значень пристрою. Всі ці міркування ігноруються при обнуленні пристрою. Значна частина значення, що вимірюються, не враховується в припущенні, що відноситься до чистої води, хоча насправді, картина куди складніше. В цьому випадку відбудеться надмірна корекція та вимірювальні значення пристрою будуть помилково занижені.

Визначити стороннє світло в турбідиметрі кількісно дуже важко. Один з методів полягає в тому, щоб приготувати суспензію формазіна відомої концентрації з низькою мутністю. Зразок акуратно додають концентрують кілька разів для визначення мутність після кожної добавки. За допомогою методу стандартних добавок визначають істинне значення мутності в початковому стандарті. Різниця між зміряним значенням і знайденим

теоретично практично відповідає кількості стороннього світла. Даний метод визначення стороннього світла складний і вимагає максимальної чистоти і скрупульозної точності вимірювань. Проте, це ефективний спосіб визначення стороннього світла. «Якщо низькі значення мутності важливі, то стороннє світло повинне враховуватися в ході визначення. При використанні даного методу можна усунути вплив стороннього світла на вимірювання. У таблиці 2.1 наведено розраховані значення стороннього світла в турбідиметрах НАСН» [13].

Таблиця 2.1 – Характеристика стороннього світлорозсіювання в НАСН

Пристрій	Діапазон	Значення
2100A	від 0 до 10 NTU	< 0,04 NTU
2100 A	від 0 до 100, від 0 до 1000 NTU	< 0,5 NTU
SS6/SS6SE	від 0 до 10000 NTU	< 0,04 NTU*
Ratio™, Ratio™ XR	від 0 до 200, від 0 до 2000 NTU	< 0,012 NTU
1720C	від 0 до 100 NTU	< 0,01 NTU*
1720D	від 0 до 100 NTU	< 0,008 NTU*
2100P	від 0 до 1000 NTU	< 0,02 NTU
2100N/AN	від 0 до 10000 NTU	< 0,01 NTU
2100 AN IS	від 0 до 10000 NTU	< 0,005 NTU
2100 N IS	від 0 до 10000 NTU/FNU	< 0,5 NTU
Pocket Turbidimeter™	від 0 до 400 NTU	< 0,1 NTU

Є декілька способів зменшити кількість стороннього світла. Перший – зберігати пристрій і вимірювальні осередки в чистоті. Щоб зменшити забруднення пристрою належить зберігати в чистому приміщенні без пилу. Пристрій необхідно регулярно акуратно чистити. Осередки необхідно ретельно чистити як зовні, так і зсередини. Коли осередки не використовуються, вони повинні бути закриті, щоб запобігти попаданням пилу. Крім того, зовні них потрібно покривати силіконовим маслом, яке заповнить дрібні подряпини, що також викликають розсіяння світла.

2.3 Визначення гранично-низьких концентрацій

«Основна задача нефелометрії – це визначення гранично низьких значень мутності. Зазвичай це визначення мутності менше 1 NTU в пробах чистої води. В таких пробах домішки не видно неозброєним оком. Так питна вода використовується при виробництві напівпровідників або на електростанціях. При визначенні низьких значень мутності існують два джерела помилок: стороннє світло та забруднення проби частинками. Забруднення сторонніми частинками вносить велику похибку у вимірювання. Заходи, що допомагають зменшити похибку від забруднень такі [13]:

1. Вимірювальні осередки повинні бути ретельним чином очищені:

а) вимити осередок з милом і дистильованою водою;

б) негайно занурити в розчин 1:1 соляної кислоти і витримати як мінімум година; також можна помістити осередки в ультразвукову ванну, щоб легше було видалити частинки з поверхні скла;

в) потім негайно обполоснути ультрафільтрованою дистильованою водою (фільтрування зворотним осмосом, або через фільтр 0,2 мкм); промити не менше 15 разів.

г) відразу після того, як осередки промиті, закупорити їх, щоб запобігти попаданню пилу і висиханню внутрішньої поверхні осередків».

Для оцінки чистоти вимірювальних осередків виконується простий тест. Заповнення осередку ультрафільтрованою дистильованою водою, дати постояти декілька хвилин. Відполіровуються осередок силіконовим маслом і визначається мутність. Після цього розміщується осередок в ультразвукову ванну на 5 секунд. Знову відполіровується і визначається мутність. Якщо змін немає, то осередок вважається чистим. Якщо після дії ультразвуком мутність збільшилася, значить внутрішні стінки містять забруднення, які можуть потрапити в зразок. Інший спосіб оцінки – рівень шуму. Надчисті осередки, які заповнені надчистою водою дають дуже рівний рівень мутності менше 0,03 NTU.

2. Осередки повинні бути помічені. При очистці осередку заповнюють їх ультрафільтрованою водою, дати можливість постояти, щоб вийшли міхури. Потім відполіровуються силіконовим маслом осередок та визначаються значення мутності при різній орієнтації осередку. Знаходження орієнтації, при якій мутність мінімальна і вони помічаються. Для виконання вимірювань дотримуються даної орієнтації.

3. Видалення міхурів. Мікроміхури можуть бути джерелами позитивних похибок при визначенні мутності. Кращий спосіб позбавитися їх це дати зразку вистояти декілька хвилин, щоб міхури спливали. Якщо зразок необхідно перемішати – акуратно поволі перевертають кілька разів. Це дозволить перемішати зразок, але не внести в нього міхури повітря, які позначаться на вимірюваннях.

Також ефективно вакуумування зразків. Проте, необхідно стежити, щоб в пробу не потрапили забруднення від вакуумного насоса. Для усунення міхурів можна використовувати ультразвукову ванну, проте необхідно заздалегідь переконатися, що осередок ідеально чистий. Також ультразвукова ванна може викликати зміну розмірів і форми частинок або відривати їх від стінок, збільшуючи мутність зразка.

4. Зберігати осередки відполірованими. Поліровка зовнішньої поверхні силіконовим маслом допоможе запобігти прилипанню частинок. Силіконове масло допоможе також зменшити стороннє світло, оскільки воно заповнить дрібні подряпини, на яких інакше відбувалося б розсіювання світла.

5. По можливості, використовувати тільки один осередок. Ідеально чистий осередок бажано використовувати для роботи зі всіма зразками. При установці осередку в однаковій орієнтації вплив самого осередку виключається, і можна точно порівнювати мутність різних зразків. Якщо необхідно декілька осередків, слід ввести поправки. Для отримання поправок використовуйте кращий осередок. Зберігайте її для роботи із зразками найнижчої мутності.

2.4 Точність турбідиметру в області низьких значень

При роботі в області низьких значень мутності вкрай важливо перевірити точність аналізатора мутності. Традиційні стандарти з такими значеннями мутності складно приготувати і вони стабільні дуже короткий час. В даний час існує два методи перевірки точності пристрою в області низьких значень. Простий припускає використання стабілізованих перевірочних стандартів на основі формазіна. Існують стандарти в діапазоні від 10 до 1,00 NTU. Вони готуються і упаковуються в строгих умовах, щоб добитися максимально можливої точності. Докладні інструкції пояснюють, як поводитися із стандартом, щоб правильно і точно визначити характеристики пристрою і методики в області низьких значень. Другий спосіб оцінки характеристик пристрою при роботі в області низьких значень мутності – розбавити досліджуваний зразок відомою кількістю стабільного стандарту. Щоб провести такий тест потрібно наступне:

- вода наднизької мутності, яка переважно очищена зворотним осмосом або фільтруванням через мембрану 0,2 мкм;
- дуже чистий скляний посуд, зокрема один вимірювальний осередок високої оптичної якості;
- свіжоприготований стандарт мутності по формазину 20,0 NTU;
- точна автоматична піпетка типу TenSette® Pipet® або аналогічна.

Використовуючи перераховане устаткування, користувач може визначити, як пристрій реагує на добавки стандарту. Нижче приведений приклад тесту:

1. За допомогою піпетки помістити 25 мл очищеної зворотним осмосом води в чистий вимірювальний осередок; осередок повинен бути сухим; негайно закрити осередок.

2. Відполірувати осередок та акуратно помістити в турбідиметр при дотриманні орієнтації.

3. Дочекатися, поки значення стануть стабільними, зазвичай для того, щоб

міхури спливли, потрібен від 1 до 5 хвилин.

4. Записати значення.

5. За допомогою піпетки (0 – 1,0) мл TenSette® або аналога та чистого носика додати 0,5 мл стандарту 20,0 NTU. Перед використанням стандарт потрібно ретельно перемішати. Приріст мутності повинен складати 0,39 NTU.

6. Закрити осередок та акуратно перевернути 10 разів, щоб розмішати вміст.

7. Знову відполірувати осередок, помістити в турбідиметр при дотриманні орієнтації.

8. Знову почекати (1 – 5) хвилин, поки стабілізуються значення.

9. Записати значення.

Різниця між значенням, які тримані в п. 9 і значенням мутності чистої води, які отримані в п. 4 складає відгук пристрою на добавку стандарту формазіна 20,0 NTU. Теоретично мутність повинна змінитися (у даному зразку) на 0,39 NTU. Різниця між відгуком пристрою і теоретичним значенням складає похибку пристрою при роботі в даній області. Велику частину цієї помилки складає стороннє світло від пристрою і вимірювальним осередком. Величину похибки можна віднімати при визначенні мутності. Дана процедура працює до тих пір, поки: 1) використаний скляний посуд ретельним чином відмитий; 2) зразок, що додається, свіжий (не більш 30 хвилин); 3) добавка додається точно; 4) кожного разу використання одного і того ж осередку в одному і тому ж положенні; 5) оптика пристрою чиста, пристрій розміщується в чистому приміщенні; 6) для роботи із зразками використовується той самий осередок.

2.5 Визначення великих значень мутності

Визначення високих значень мутності – це зазвичай таке вимірювання, при якому неможливо визначити концентрацію частинок нефелометричним способом. У приладах з довжиною шляху світла в зразку 1 дюйм сигнал

нефелометричного датчика починає зменшуватися при досягненні мутності порядку 2000 NTU. Починаючи з такого рівня, збільшення мутності призведе до зменшення сигналу нефелометричного детектора.

Для визначення мутності в таких зразках існують інші способи: за світлом, що проходить, за прямим розсіюванням та за зворотнім розсіюванням. Кількість світла, що проходить, і розсіяного вперед зворотно пропорційно зростанню мутності і дають добрі результати до значень порядку 4000 NTU. При значеннях мутності більше 4000 NTU (з використанням стандартного 1 дюймового осередку) сигнал від проходячого або від розсіяного вперед світла настільки малий, що порівняно з рівнем шуму, тобто шум пристрою стає основним джерелом перешкод. З другого боку сигнал датчика зворотного розсіювання зростає пропорційно зростанню мутності. Показано, що детектування зворотного розсіювання ефективно для визначення мутності в діапазоні від 1000 до 1000 NTU (і вище). Нижче 1000 NTU сигнал датчика зворотного розсіювання дуже малий і втрачається в шумі пристрою. За допомогою комбінації детекторів можна визначати мутність від мінімальних до надвисоких значень.

Визначення надвисокої каламутності широко застосовується, наприклад, для контролю змісту жиру в молоці, зміст таких компонентів, як діоксид титана у фарбах, шламу в гірських породах, води в зворотному мулі очисних споруд.

При визначенні надвисокої мутності вимірювальний осередок сильно впливає на точність. Осередок не є ідеально круглим, а товщина стінки непостійна. Ці два фактори значено впливають на визначення мутності та особливо на визначення за зворотнім розсіюванням. Щоб зменшити вплив осередку, необхідно виконувати декілька вимірювань при різній орієнтації осередку. Рекомендуються положення 0, 90, 180 і 270 градусів щодо мітки. Вимірювання необхідно виконувати, використовуючи однакову методику підготовки проби. Вимірювання слід проводити через однакові інтервали часу після перемішування проби, щоб досягти максимальної відтворності вимірювань. Набуті значення необхідно усереднювати, і приймати за істинне

значення усереднену величину.

Визначення надвисокої мутності зазвичай використовується для контролю за управлінням виробничим процесом. Користувач спершу повинен встановити взаємозв'язок між мутністю і різними умовами протікання процесу.

Для визначення залежності пробу розбавляють і визначають мутність при кожному розбавленні. Будують графік залежності мутності від розбавлення. Нахил апроксимуючої прямої показує природу залежності. Якщо нахил великий (більше 1), значить відповідність добра і потенційні перешкоди вимірюванням мінімальні. Якщо нахил маленький (менше 0,1), значить існують перешкоди, що впливають на вимірювання. В цьому випадку зразок слід розбавляти до тих пір, поки нахил не почне зростати. Якщо ж нахил близький до нуля або негативний, значить мутність дуже велика, або перешкоди дуже сильні. Зразок знову ж таки слід розбавити.

При визначенні надвисокої мутності колір може стояти на основній заваді. Можливе рішення у випадку колірних перешкод – це значно розбавляє пробу. Альтернативний спосіб полягає в тому, щоб виявити спектр поглинання зразків і проводити визначення мутності на тих довжинах хвиль, що зразок не поглинає. Використання довжини хвилі (800 – 860) нм ефективно, тому що більшість забарвлених з'єднань, що зустрічаються в природі, трохи поглинає світло з такою довжиною хвилі.

Можливість визначати мутність в діапазоні надвисоких значень дає просту фізичну характеристику для великої кількості зразків і процесів. В цілому, кожен процес унікальний, і потрібні деякі зусилля, для того, щоб точно характеризувати зразок і його властивості за допомогою турбідиметричного (нефелометричного) вимірювань.

2.6 Мутність і вміст зважених речовин

Традиційний аналіз вмісту зважених речовин зазвичай закінчується гравіметрією, яка вимагає багато часу і чутлива до методики експерименту. Для

завершення аналізу потрібно від двох до чотирьох годин. Таким чином, навіть якщо проблема і знайдена, час для її вирішення часто вже упущено. Це призводить до дорогого простою і ремонту. При цьому мутність можна використовувати як заміну тривалому гравіметричному аналізу. Необхідно встановити взаємозв'язок між мутністю і загальною кількістю твердих частинок (вмістом зважених речовин) в пробі. Якщо залежність існує, то турбідиметр (мутномір) можна використовувати для контролю за вмістом зважених речовин і отримувати швидкий результат. Використання турбідиметру дозволяє скоротити час очікування результату з годин до секунд. Для визначення залежності мутності від загального вмісту твердих частинок розроблена відповідна процедура. «При визначенні даної залежності робляться деякі припущення» [15]:

- зразок не містить плавучих частинок;
- зразок повинен бути текучим настільки, що при перемішуванні стане однорідним і може бути акуратно розбавлений;
- зразок містить тверді частинки такі ж, як в зразках, робота з якими планується;
- склад зразка повинен бути добре відомий;
- процедура визначення залежності повинна бути якомога коротше;
- зразок необхідно ретельно перемішувати при будь-якому розбавленні або вимірюванні.

«Методика підготовки проби і виконання вимірювань повинна бути однаковою при вивченні залежності та при вивченні зразків під час контролю технологічного процесу. Температура зразка повинна співпадати з температурою процесу, що цікавить. Надалі температури всіх зразків повинні бути однаковою, як при визначенні мутності, так і при фільтруванні зразків для гравіметричного аналізу. Процедура визначення залежності розділена на чотири стадії. Нижче наведено короткий опис кожної з них» [15].

1. Розбавлення зразка. Для того, щоб покрити весь можливий діапазон вмісту твердих частинок, необхідно декілька ступенів розбавлення зразка. Для

розбавлення зразків необхідно використовувати воду з «нульовою мутністю». Розчинники повинні бути безбарвними, без частинок, розчинник повинен відповідати хімічним та фізичним властивостям зразків.

2. Визначення загального змісту твердих частинок в зразку при кожному розбавленні. Зміст твердих частинок при кожному розбавленні визначають гравіметричним способом. Необхідно поклопотатися про дотримання методики впродовж всього ряду вимірювань.

3. Визначення мутності при кожному розбавленні. Визначають мутність кожного зразка. Необхідно дотримуватися однакової методики для визначень мутності всіх зразків. Наприклад, кожен зразок перевертати однакову кількість раз, витримувати інтервал між змішуванням та зняттям значень і т.д.

4. Визначення залежності між мутністю і результатами гравіметричного аналізу. Будують графік залежності між загальним вмістом твердих частинок і мутністю. Для знаходження кореляції використовують метод найменших квадратів (МНК). Коефіцієнт кореляції 0,9 або більш свідчить про застосування знайденої залежності між мутністю і загальним вмістом твердих частинок. Побудувавши графік, можна визначити чутливість знайденої кореляції. Чим крутіше нахил, тим вище чутливість турбідиметрії і тим краще залежність описуватиме реальний зразок.

2.7 Постановка задачі досліджень

«Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) за наслідками впливу на здоров'я мутність не нормує, проте з погляду зовнішнього вигляду рекомендує, щоб мутність була не вищою 5 NTU (нефелометрична одиниця мутності), а для цілей знезараження – не більш 1 NTU. Співвідношення між основними одиницями вимірювання мутності $1 \text{ FTU (ЕМФ)} = 1 \text{ FNU} = 1 \text{ NTU}$ » [16].

«Перерахунок в мг/л залежить від матеріалу и сильно змінюється від $1 \text{ NTU} = 0,13 \text{ мг/л}$ (кремнезем у вигляді діатоміту) до 1 мг/л (каоліну)» [16].

«Вимоги до вимірювального контролю мутності питної води» [16]:

– діапазон вимірювання мутності, NTU від 0 до 10;

який відповідає:

за кремнеземом у вигляді діатоміту, мг/л від 0 до 1,3;

за каоліном, мг/л від 0 до 10;

– абсолютне значення основної похибки

вимірювання мутності, Δ_{NTU} $\pm 0,05$;

– відносне значення похибки вимірювання мутності, δ_{NTU} $\pm 0,5$.

«Фотометричний метод є єдиним розповсюдженим методом визначення мутності питної води. Турбідиметричний та нефелометричний метод є схожими методами, які відрізняються тим, що нефелометрія характеризує кількісну оцінку відбитого світла, що розсіюється від часток, а турбідиметрія – оцінка світла, що проходить крізь суспензію з непрозорими частками» [16].

«Нефелометричний метод з'явився як розвиток турбідиметричного методу та у теперішній час турбідиметрія являє собою частку нефелометрії.. На практиці можна створювати нефелометри, які будуть реєструвати світло не тільки на куті 90° , але і на будь-яких інших кутах, в тому числі і нульовому, як у турбодиметрії» [16]:

«Використання декількох датчиків розсіяного світла під різними кутами підвищує точність визначення мутності, бо частинки різного розміру відбивають світло під різними кутами не рівномірно» [16].

3 РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ МУТНОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

3.1 Розробка структурної схеми електронної системи вимірювання мутності питної води

«До складу електронної системи вимірювання мутності питної води входить оптико-електронний блок, який має пластмасовий корпус, в торцях якого встановлені лінзи, що забезпечують паралельний світловий потік у вимірювальному середовищі. Проточна кювета представляє собою зварений корпус, який закріплюється в безпосередній близькості від місця відбору аналізованої речовини, яка подається та відводиться до вихідної ємності» [16].

«Основною функцією вимірювальної системи, що розробляється, є визначення мутності питної води. Блок вимірювання мутності включає чутливий елемент та схему перетворення мутність (протік) – напруга. На виході каналу маємо уніфікований сигнал постійної напруги в діапазоні від 0 до 2,5 В. Аналоговий сигнал від вимірювального блоку необхідно передати до аналого-цифрового перетворювача (АЦП) для його подальшої обробки в мікропроцесорному блоці системи, що розробляється. Структурну схему електронної системи вимірювання мутності питної води наведено на рисунку 3.1» [16].

«На рисунку 3.1 позначено: ДС – джерело струму; ДВ – джерело випромінювання; ОК – оптичний канал; ФПП – фотоприймальний пристрій; ППФ – попередній підсилювач сигналу фотодіода; ПКП – передкрайовий каскад підсилювача; НП – нормуючий підсилювач; АЦП – аналого-цифровий перетворювач, який є частиною мікропроцесору; МП – мікропроцесор; ПІ – пристрій індикації, на екран якого виводиться результат вимірювання; ПК – комп'ютер, який зберігає оброблені дані та отримані результати вимірювання мутності питної води» [16].

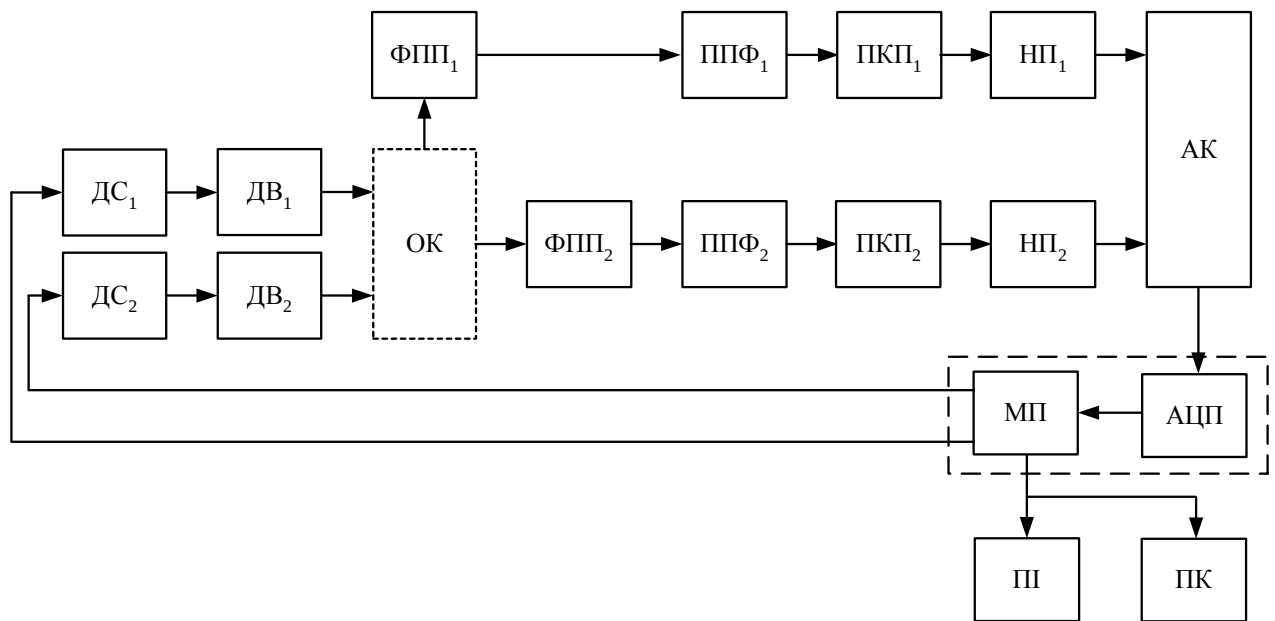


Рисунок 3.1 – Структурна схема електронної системи
вимірювання мутності питної води

«Для побудови електронної системи використано оптрону пару джерело випромінювання ДВ₁ – світловипромінюючий діод (СВД) та фотоприймальний пристрій ФП₁ – фотодіод (ФД), а також враховано вимоги проточності вимірювального середовища через кювету, що забезпечується оптичним каналом (ОК). Для отримання необхідної точності вимірювань мутності речовини запропоновано використовувати два оптичні канали, які виконують вимірювання інтенсивності оптичного випромінювання прямого ходу та розсіяного під кутом 90°. Також пропонується виконувати зондування оптичного середовища на двох довжинах хвиль оптичного випромінювання, що забезпечено двома джерелами випромінювання (ДВ₁ та ДВ₂). Для живлення вимірювального (ДВ₁) та компенсаційного (ДВ₂) СВД використані джерела струму (ДС), які керовані напругою, що забезпечують СВД струмом, при цьому сила струму не залежить від падіння напруги на СВД та регулюється тільки вхідною опорною напругою ДС» [16].

«Структурну схему керованого джерела струму, для живлення СВД наведено на рисунку 3.2, де СВД – світловипромінюючий діод, ДС – джерело струму, яке кероване напругою; ДЖ – джерело живлення; ДОН – джерело

опорної напруги; К – ключ; СК_{ДС} – сигнал керування ДС від мікропроцесорної системи (МПС) або мікроконтролера, які використовуються для керування вимірювачем, накопиченням отриманої інформації та передачі її до ПК» [16].

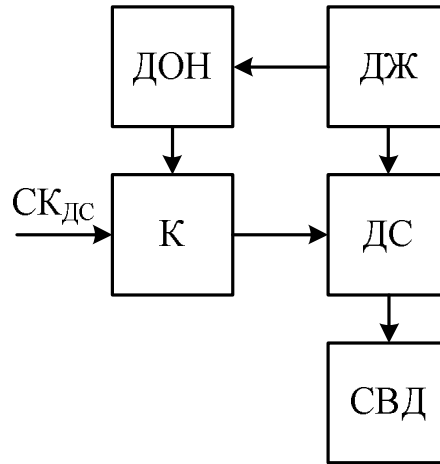


Рисунок 3.2 – Структурна схема керованого ДС для живлення СВД

«До джерела струму, яке кероване напругою підключається безпосередньо СВД, напруга на вході ДС встановлюється джерелом опорної напруги (ДОН). Величина напруги на виході ДОН може плавно регулюватися вихідним ділянком напруги, тим самим передбачається плавне регулювання живлячого струму СВД. Формування імпульсної послідовності живлячого струму СВД виконується сигналами управління від МПС (СК_{ДС}) через аналоговий ключ, що забезпечує імпульсний режим роботи СВД» [16].

«Приймальна оптико-електронна частина системи вимірювання мутності питної води представлена двома каналами. Для забезпечення фотогальванічного режиму роботи фотодіодів (ФД), який відповідає режиму короткого замикання оптико-електронних компонент вимірювача, використаний трансімпедансний підсилювач (перетворювач струму в напругу) – попередній підсилювач сигналу фотодіода (ППФ), передкрайовий каскад підсилювача (ПКП) служить для збільшення амплітуди сигналу до необхідного рівня детектування. Вихідний сигнал ПКП подається на нормуючий перетворювач (НП), який виконує додатково фільтрацію низької частоти

вихідного сигналу ПКП, а також масштабує його до вхідного рівня АЦП» [16].

«Вимірювальні сигнали після АЦП передаються до МП. Сигнали поступають до блоку перетворення, де по характеристиці перетворення розраховуються значення мутності питної води. За набутими значеннями мутності за допомогою МП здійснюється передача інформації про мутність зразка питної води на блок пристрою індикації (ПІ), на екран якого виводиться результат вимірювання і за допомогою послідовно-паралельного інтерфейсу до персонального комп'ютеру. Для керування блоком індикації та блоком інтерфейсу передачі МП формує відповідні сигнали управління $СК_{ПІ}$ та $СК_{ПІІ}$.

«Вимірювальний канал електронної системи вимірювання мутності питної води (C_{tud}) повинен задовольняти наступним вимогам» [16]:

- діапазон вимірювання мутності, NTU від 0 до 10;
- який відповідає:
 - за кремнеземом у вигляді діатоміту, мг/л від 0 до 1,3;
 - за каоліном, мг/л від 0 до 10;
- абсолютне значення основної похибки вимірювання мутності, Δ_{NTU} $\pm 0,05$;
- відносне значення похибки вимірювання мутності, δ_{NTU} $\pm 0,5$ »

3.2 Математична постановка задачі вимірювання мутності питної води

«Електронна система, що розробляється, повинна контролювати мутність питної води, яка має дуже мале значення від 0 до 10 NTU, що складає від 0 до 13 мг/л за кремнеземом у вигляді діатоміту. Цей фактор потребує високої чутливості системи, але це вимагає великих технічних затрат» [16].

«Другий закон Бера, який виражає зв'язок між інтенсивністю пройденого випромінювання та концентрацією поглинаючої речовини у розчині; потік паралельних промінів монохроматичного випромінювання при проходженні крізь розчин з поглинаючої речовини концентрації C_{tud} послаблюється за

законом» [14]:

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot C_{tud} \cdot l}, \quad D = \frac{\lg(I_0)}{I} = k \cdot C_{tud} \cdot l,$$

де I_0 – інтенсивність падаючого монохроматичного випромінювання; I – інтенсивність монохроматичного випромінювання, що пройшло шар речовини; k – коефіцієнт поглинання, що характеризує речовину; D – оптична щільність випромінювання; C_{tud} – мутність речовини; l – товщина поглинаючого шару.

Оптична щільність розраховується як:

$$D(C_{tud}, \lambda) = C_{tud} \cdot l \cdot k(\lambda).$$

Визначивши оптичну щільність D , розраховуємо коефіцієнт пропускання оптичного каналу T за формулою:

$$T(C_{tud}, \lambda) = e^{-D(C_{tud}, \lambda)},$$

де λ – довжина хвилі випромінювання.

«Джерело випромінювання повинно забезпечити оптичне випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 800 до 900 нм» [17]. У якості джерела випромінювання вибираємо світловипромінюючий діод типу АЛ120А, який має наступні технічні характеристики:

- пікова довжина хвилі випромінювання, λ , нм 880;
- потужність випромінювання, P , мВт не більш 0,8;
- значення напруги при прямому включенні, $U_{пр}$, В не більш 2;
- значення прямого струму, $I_{пр}$, мА 50;
- зворотний струм, $I_{збр}$, мкА при -1 В 10;

Спектральна щільність потоку випромінювання для світловипромінюючого діоду (СВД) розраховується за наступною формулою:

$$f_{\text{СВД}}(\lambda) = S_{0\text{СВД}} \cdot e^{-r_{\text{СВД}}^2 \cdot (\lambda - \lambda_{0\text{СВД}})^2},$$

де $S_{0\text{СВД}} = \frac{\Phi_{0\text{СВД}} \cdot r_{\text{СВД}}}{\sqrt{\pi}}$ – максимальна спектральна щільність потоку.

Нормовану спектральну щільність потоку випромінювання СВД типу АЛ120А наведено на рисунку 3.3.

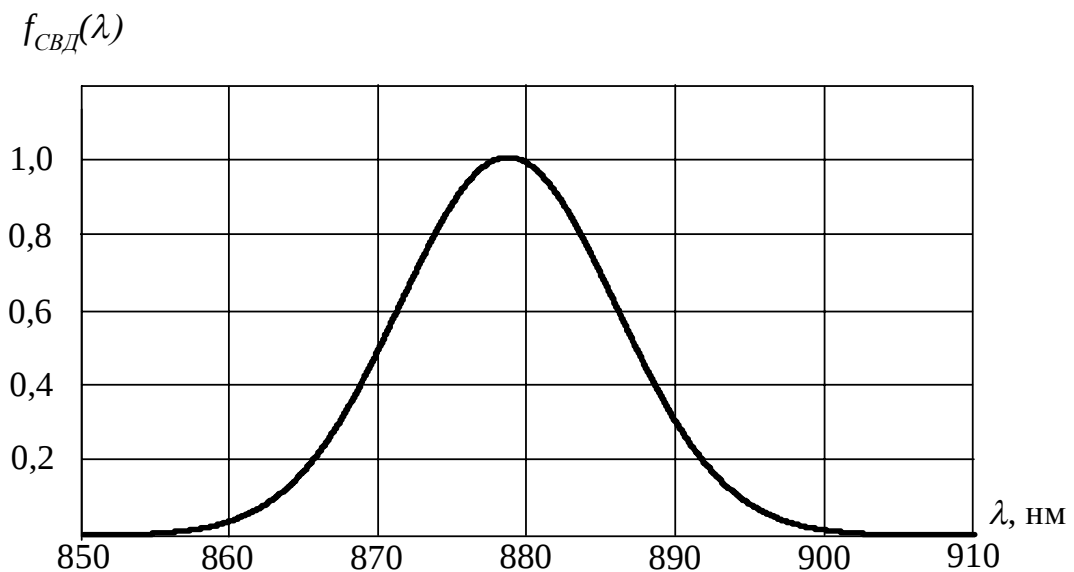


Рисунок 3.3 – Спектральна щільність потоку
випромінювання СВД типу АЛ120А

«В якості фотоприймача у роботі використовуються фотодіод ФД-9К, який призначено для застосуванні як приймач та датчик інфрачервоного випромінювання у складі оптико-електронної апаратури, систем фотоелектричної автоматики та безконтактного вимірювання температури, обчислювальної та вимірювальної техніки, приладів, що працюють у діапазоні довжин хвиль від 0,5 до 1,12 мкм. Фотодіод ФД-9К має наступні технічні характеристики і параметри [17]:

- розміри фоточутливого елементу, а x b, мм 4,4x4,4;
- діапазон довжин хвиль, Δλ, мкм від 0,5 до 1,12;
- діапазон довжин хвиль максимуму, λ_{max}, мкм від 0,85 до 0,92;

- робоча напруга U_p , В 10;
- темрявий струм, I_T , мкА не більш 1;
- інтегральна чутливість за струмом, $S_{I_{int}}$, мА/Вт 0,25;
- постійна часу, τ , мкс не більш 12.»

Відносну спектральну чутливість фотодіоду ФД-9К наведено на рисунку 3.4.

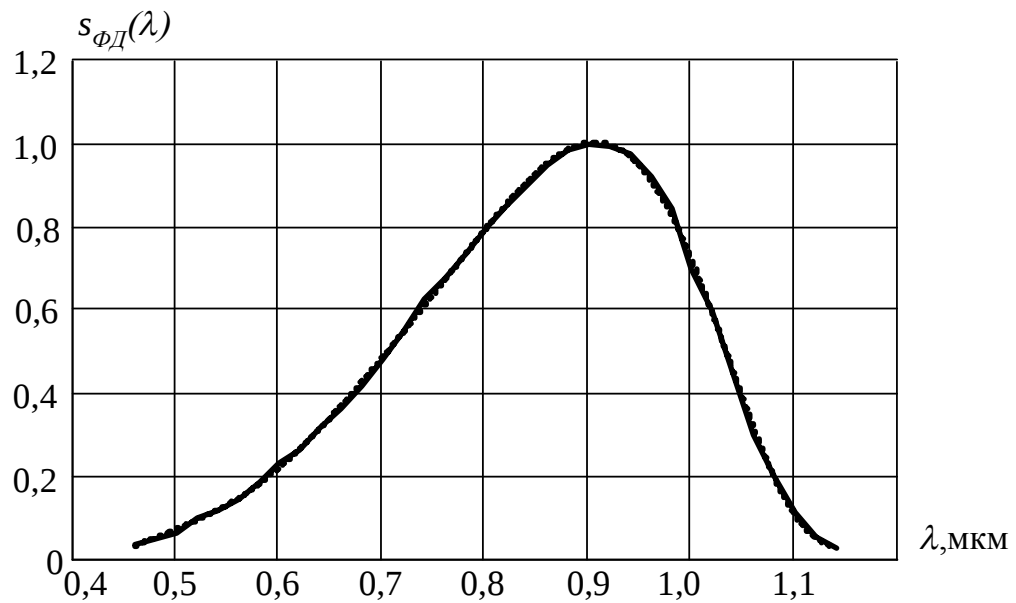


Рисунок 3.4 – Відносна спектральна чутливість фотодіоду ФД-9К

«Вихідний сигнал фотоприймача є сигналом струму, оскільки фотоприймальний пристрій – фотодіод ФД-9К, і визначається співвідношенням» [17]:

$$I_{вихPD}(C_{tud}, l) = S_{Cint} \cdot \Phi_{вихOK}(C_{tud}, l),$$

«де S_{Cint} – інтегральна чутливість фотоприймача до сигналу випромінювача; ця характеристика пов'язана із спектральними характеристиками, як фотоприймача, так і випромінювача та відрізняється від інтегральної чутливості фотоприймача. Обидві характеристики визначаються таким чином» [17]:

$$S_{lum} = \int_0^{\infty} S_{\Phi D}(\lambda) d\lambda; \quad S_{Clum} = S_{lum} \cdot s_{Clum}.$$

Нормована інтегральна чутливість фотодіода до сигналу:

$$s_{Clum} = \frac{\int_0^{\infty} s_{\Phi D}(\lambda) \cdot s_{CB D}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} s_{\Phi D}(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} s_{\Phi D}(\lambda) \cdot s_{CB D}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} s_{\Phi D}(\lambda) d\lambda} = 0,215.$$

«Інтегральна чутливість фотодіода до сигналу» [17] :

$$S_{Clum} = S_{lum} \cdot s_{Clum} = 0,25 \cdot 0,215 = 53,75 \frac{\text{мА}}{\text{Вт}}.$$

«Зміну величини вихідного струму фотодіода від мутності питної води, величина якої складає від 0 до 13 мг/л за кремнеземом у вигляді діатоміту наведено на рисунку 3.5» [17].

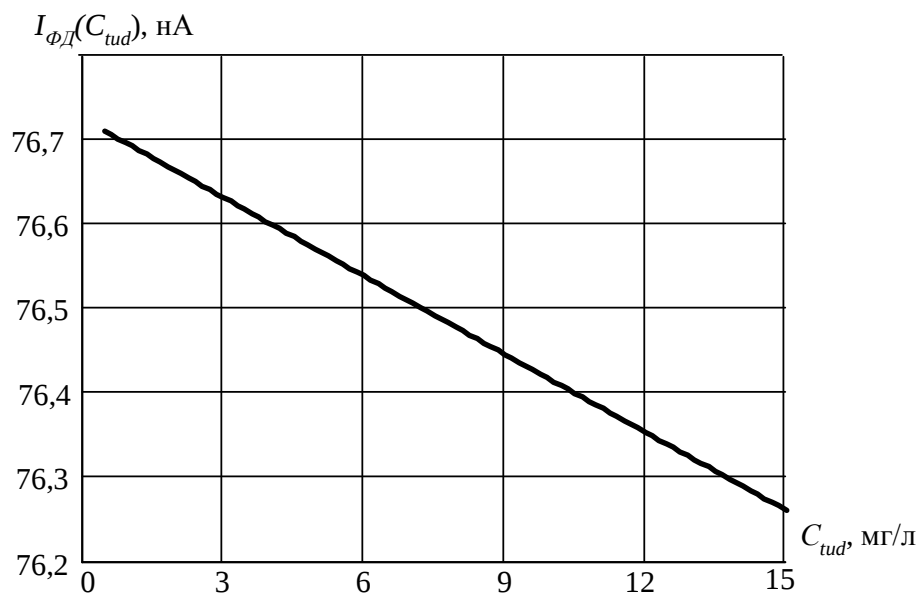


Рисунок 3.5 – Зміна величини вихідного струму фотодіода від мутності питної води

4 ПРОЕКТУВАННЯ БЛОКІВ І ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ МУТНОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

4.1 Розрахунок вихідного кола фотодіода

«Як фотодіоди використовується фотодіод ФД-9К, технічні характеристики і параметри якого наведено в п. 3.2. Фотодіод працює у фотогальванічному режимі. Схему включення фотодіода ФД-9К у фотогальванічному режимі наведено на рисунку 4.1» [18 – 20].

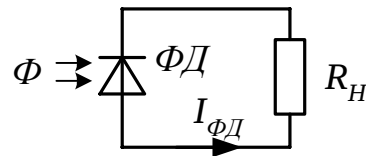


Рисунок 4.1 – Схема включення фотодіода ФД-9К
у фотогальванічному режимі

Діапазон зміни вихідного струму фотодіода:

$$\begin{aligned} \Delta I_{\text{вих ФД}}(C_{\text{туд}}) &= I_{\text{вих ФД}}\left(C_{\text{туд}} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}}\right) - I_{\text{вих ФД}}\left(C_{\text{туд}} = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}}\right) = \\ &= 76,711 - 76,261 = 0,450 \text{ нА}. \end{aligned}$$

«Під час розімкненого зовнішнього кола та незмінному освітленні прямий струм збільшуватиметься до тих пір, поки струми основних і неосновних носіїв не урівноважаться, при цьому між електронами р-п переходу встановлюється деяка різниця потенціалів $U_{\text{ХХ}}$, виникаюча під дією освітлення» [19, 20]. Під час підключення до контактів фотодіода навантаження (див. рис. 4.1) та відсутності освітлення через р-п перехід і через опір навантаження потече струм неосновних носіїв, що термічно генеруються I_T (для ФД-9К I_T не більш

1 мкА), так званий темрявим струмом. При освітленні з'являється додатковий фотострум неосновних носіїв, так званий фотострумом I_ϕ :

$$I_\phi(C_{tud}) = S_{Cim} \cdot \Phi_{BHX OK}(C_{tud}).$$

Загальний струм в колі фотодіода у фотогальванічному режимі:

$$I_{BHX \Phi D} = I_T \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot U_R}{k \cdot T}\right) \right] - I_\phi(C_{tud}),$$

де U_R – падіння напруги на навантаженні від протіканні в колі струму,

$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд електрона; $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – постійна Больцмана;

$T = 273,15 + t$, K – абсолютна температура.

Цей вираз дозволяє побудувати вольт-амперну характеристику фотогальванічного режиму фотодіода. Таким чином, фотодіод у фотогальванічному режимі безпосередньо перетворює енергію світла в електричну, тобто фотодіод працює генератором фото-е.р.с. У фотогальванічному режимі роботи фотодіода напруга на р-п переході визначається струмом, що протікає в колі навантаження, при $R_H \rightarrow \infty$, струм в зовнішньому колі $I_H = 0$, замість U_{R_H} можна підставити значення напруги холостого ходу U_{XX} :

$$0 = I_T \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot U_{XX}}{k \cdot T}\right) \right] - I_\phi(C_{tud}, I).$$

З цього виразу знаходимо напругу холостого ходу:

$$U_{XX}(C_{tud}) = \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln \left(\frac{I_{\phi}(C_{tud})}{I_T} + 1 \right).$$

Графік зміни напруги холостого ходу на виході фотодіода від мутності питної води наведений на рисунку 4.2. Зі зростанням світлового потоку напруга холостого ходу $U_{XX}(C_{tud})$ (фото-е.р.с.) фотодіода у фотогальванічному режимі змінюється за логарифмічним законом і в межі досягає значення, яке дорівнює контактній різниці потенціалів р-п переходу. Розрахуємо діапазон вхідного сигналу підсилювача фотодіода, в якості навантаження якого застосований опір R_1 (див. рис. 4.2).

$$U_{R_1}(C_{tud}) = I_{\phi}(C_{tud}) \cdot R_1.$$

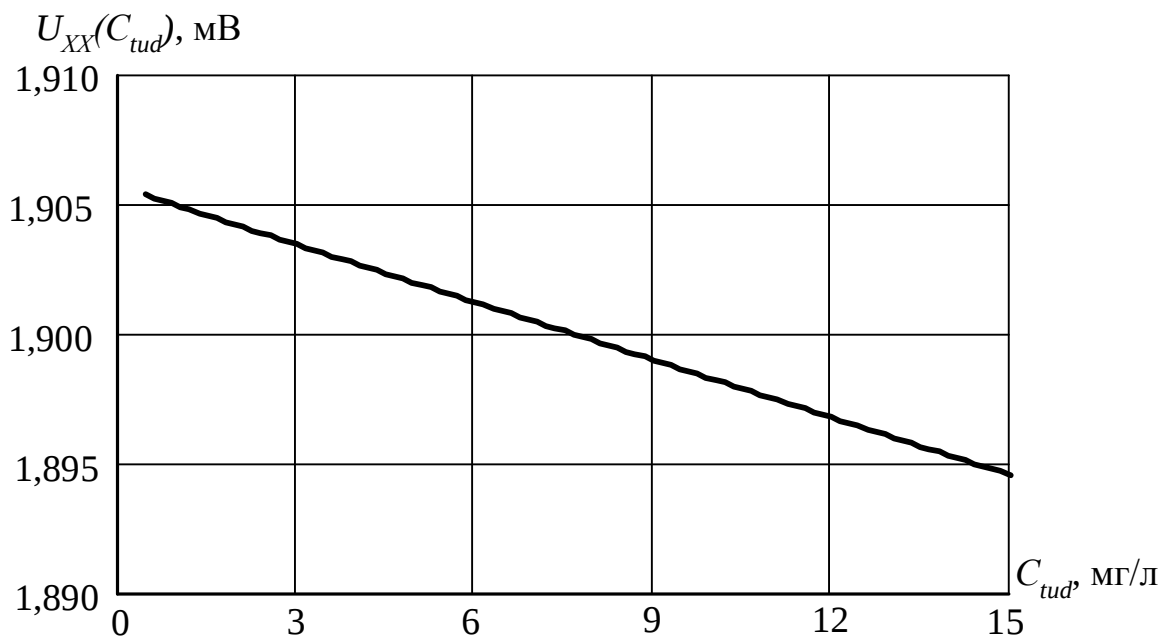


Рисунок 4.2 – Графік зміни напруги холостого ходу на виході фотодіода від зміни мутності питної води

Оскільки діод працює у фотогальванічному режимі близькому до режиму холостого ходу, приймаємо номінальне значення опору $R_1 = 1 \text{ МОм}$. Потужність, що розсіюється на резисторі R_1 :

$$P_{R_1} = \frac{\left(\left(I_{\phi} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) - I_{\phi} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) + I_T \right) \cdot R_1 \right)^2}{R_1} =$$

$$= \frac{\left((76,711 \cdot 10^{-9} - 76,261 \cdot 10^{-9} + 1 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 \cdot 10^6 \right)^2}{1 \cdot 10^6} = 1,001 \text{ мкВт.}$$

Вибираємо резистор R_1 типу С2-14-0,05-1 МОм $\pm$ 1 % [21]. Діапазон вхідного сигналу підсилювача фотодіода дорівнює:

$$U_{R_1} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = I_{\phi} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) \cdot R_1 = 76,711 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^6 = 76,711 \text{ мВ};$$

$$U_{R_1} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = I_{\phi} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) \cdot R_1 = 76,261 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^6 = 76,261 \text{ мВ};$$

$$\Delta U_{R_1}(C) = U_{R_1} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) - U_{R_1} \left(C = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = 76,711 - 76,261 = 0,450 \text{ мВ.}$$

Діапазон зміни вихідної напруги аналогового каналу електронної системи вимірювання мутності питної води:

$$U_{AIN} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = 2,5 \text{ В}; \quad U_{AIN} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = 0 \text{ В.}$$

«Необхідний коефіцієнт передачі аналогового вимірювального каналу електронної системи вимірювання мутності питної води» [22, 23]:

$$K_U = \frac{U_{AIN} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) - U_{AIN} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right)}{U_{R_1} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) - U_{R_1} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right)} = \frac{2,5 - 0}{(76,711 - 76,261) \cdot 10^{-3}} = 5554,15.$$

Приймаємо коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача фотодіода вимірювального каналу системи:

$$K_{U1} = 10.$$

Приймаємо коефіцієнт підсилення передкрайового каскаду підсилення вимірювального каналу системи:

$$K_{U2} = 21.$$

Тоді коефіцієнт підсилення нормуючого підсилювача вимірювального каналу дорівнює:

$$K_{U3} = \frac{K_U}{K_{U1} \cdot K_{U2}} = \frac{5554,15}{10 \cdot 21} = 26,45.$$

Для компенсації темрявого струму фотодіода необхідно передбачити напругу зсуву попереднього підсилювача фотодіода вимірювального каналу:

$$U_{зс_1} = I_T \cdot R_1 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^6 = 1,0 \text{ В.}$$

Діапазоні зміни напруги зсуву для настройки вимірювального каналу повинен складати $U_{зс_1} = (0,9 \dots 1,1) \text{ В.}$

4.2 Розрахунок попереднього підсилювача фотодіода вимірювального каналу мутності питної води

Вимога до попереднього підсилювача фотодіода вимірювального каналу мутності питної води:

- діапазон зміна вхідної напруги, U_{R_1} , мВ від 76,711 до 76,261;
- коефіцієнт підсилення за напругою підсилювача, K_{U1} 10;
- діапазон зміни напруги зсуву $U_{зс1}$, В від 0,9 до 1,1;
- вхідний опір ОППС, $R_{вх оп}$, МОм (10...30) R_1 ;
- діапазон робочих температур, T , °С від 0 до + 40.

Принципову схему попереднього підсилювача (ПП) фотодіода наведено на рисунку 4.3.

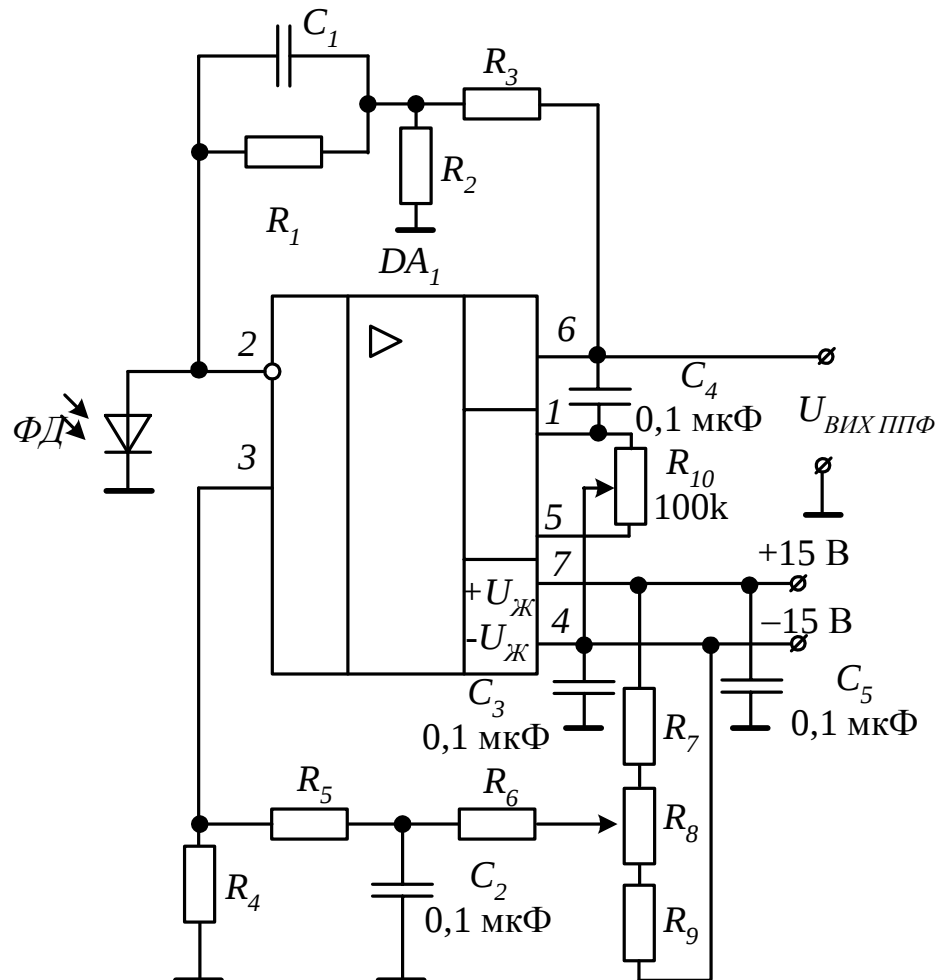


Рисунок 4.3 – Принципова схема попереднього підсилювача фотодіода

У попередніх підсилювачах фотодіодів встановлюють ОППС з високим вхідним опором, наприклад DA_1 типу AD795K, що має наступні технічні характеристики:

- вхідний струм, I_{BX} , нА 10;

– різниця вхідних струмів, ΔI_{BX} , нА	1;
– дрейф різниці вхідних струмів, $\Delta I_{BX}/\Delta T$, нА/°С	0,1;
– вхідний опір, R_{BX} , МОм	10^4 ;
– напруга зсуву нуля, U_{3C} , мкВ	250;
– дрейф напруги зсуву нуля, $\Delta U_{3C}/\Delta T$, мкВ/°С	3;
– коефіцієнт підсилення за напругою, K_U	10^6 ;
– коефіцієнт ослаблення синфазних вхідних напруг, $K_{OC\ C\Phi}$, дБ	110;
– мінімальний опір навантаження, R_{Hmin} , кОм	2;
– максимальний струм навантаження, I_{Hmax} , мА	5;
– максимальна вихідна напруга, $U_{BIX\ max}$, В	$\pm U_{Ж}$;
– максимальна синфазна вхідна напруга, $U_{C\Phi\ BX\ max}$, В	$\pm U_{Ж}$;
– напруга живлення, $U_{Ж}$, В	от ± 3 до ± 18 ;
– струм споживання, $I_{СП}$, мА	3,5.

Коефіцієнт підсилення ПП фотодіода дорівнює:

$$K_{U1} = 1 + \frac{R_3}{R_2}.$$

«По рекомендації розробників ОППС AD795K для застосування попереднього підсилювача фотодіода приймаємо номінал резистору $R_2 = 1,1$ кОм. Тоді опір зворотного зв'язку R_3 розрахуємо виходячи з необхідного коефіцієнта передачі за напругою попереднього підсилювача» [24 – 25]:

$$R_3 = R_2 \cdot (K_{U1} - 1) = 1,1 \cdot (10 - 1) = 9,9 \text{ кОм.}$$

Приймаємо номінал опору резистору $R_3 = 10$ кОм. «Уточнимо коефіцієнт передачі за напругою попереднього підсилювача фотодіода» [22]:

$$K_{U1} = 1 + \frac{R_3}{R_2} = 1 + \frac{10 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 10^3} = 10,1.$$

Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторах R_2 і R_3 :

$$P_{R_2} = \frac{(I_\phi \cdot R_1)^2}{R_2} = \frac{(76,711 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^6)^2}{1,1 \cdot 10^3} = 5,4 \text{ мкВт.}$$

Вибираємо резистор R_2 типу С2–14–0,125–1,1 кОм $\pm$ 1% [21].

$$P_{R_3} = \frac{(I_\phi \cdot R_1 \cdot K_{U1})^2}{R_3} = \frac{(76,711 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 10,00)^2}{10 \cdot 10^3} = 58,8 \text{ мкВт.}$$

Вибираємо резистор R_3 типу С2–14–0,125–10 кОм $\pm$ 1% [21].

Напруга на виході попереднього підсилювача ПП фотодіода:

$$\begin{aligned} U_{\text{вих ППФ max}} \left(C = 1 \frac{\text{мГ}}{\text{Л}} \right) &= -I_{\phi\text{Д}} \cdot R_1 \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) = \\ &= -76,711 \cdot 10^{-9} \cdot 10^6 \cdot \left(1 + \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^3 + 10^6} \right) = -0,7672 \text{ В;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{\text{вих ППФ min}} \left(C = 15,0 \frac{\text{мГ}}{\text{Л}} \right) &= -I_{\phi\text{Д}} \cdot R_1 \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) = \\ &= -76,261 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6 \cdot \left(1 + \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^3 + 10^6} \right) = -0,7626 \text{ В;} \end{aligned}$$

Діапазон зміни вихідної напруги ППФ:

$$\Delta U_{\text{вих ППФ}} = U_{\text{вих ППФ max}} - U_{\text{вих ППФ min}} = -0,7672 - (-0,7626) = -4,6 \text{ мВ.}$$

«Для компенсації темрявого струму фотодіода (ФД) необхідно подати на неінвертуючий вхід ОППС напругу зсуву» [20, 22], величина якої дорівнює (див. рис. 4.4):

$$U_{\text{зс}_1} = I_T \cdot R_1 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^6 = 1,0 \text{ В.}$$

Діапазоні зміни напруги зсуву для настройки вимірювального каналу повинен складати:

$$U_{\text{зс}_1} = (0,9 \dots 1,1) \text{ В.}$$

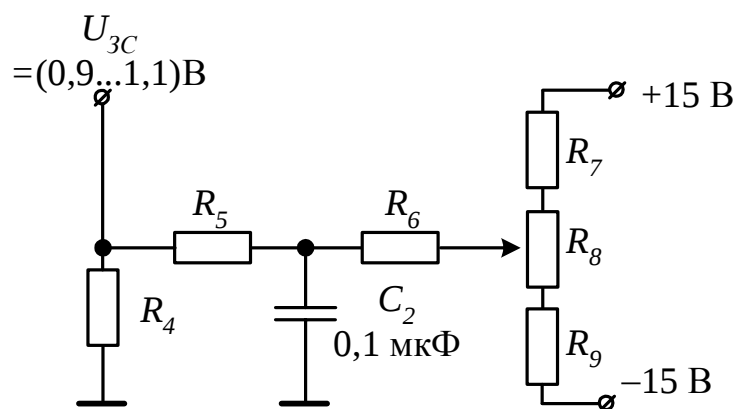


Рисунок 4.4 – Схема установки нуля ППФ

Резистори $R_4 - R_6$ утворюють дільник напруги, коефіцієнт розподілу, значення якого розраховується із співвідношення:

$$K_{\text{д}} = \frac{R_4}{R_4 + R_5 + R_6}.$$

«Приймаємо коефіцієнт дільника напруги $K_D = 0,1$ » [20, 22], тоді зміна падіння напруги на змінному резисторі R_8 дорівнює:

$$U_{R_8} = \frac{\Delta U_{3C}}{K_D} = \frac{(1,1 - 0,9)}{0,1} = \frac{0,2}{0,1} = 2 \text{ В.}$$

Задаємося струмом дільника $R_7 - R_9$, величина якого дорівнює $I_D = 1 \text{ мА}$.
Опір змінного резистора R_8 :

$$R_8 = \frac{U_{R_8}}{I_D} = \frac{2}{1 \cdot 10^{-3}} = 2 \text{ кОм.}$$

Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторі R_8 :

$$P_{R_8} = (I_D)^2 \cdot R_8 = (1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2 \cdot 10^3 = 2 \text{ мВт.}$$

Вибираємо резистор R_8 типу СП2-14-0,125-2 кОм $\pm 5\%$ [21].

Падіння напруги на резисторі R_9 дорівнює:

$$U_{R_9} = \frac{U_{3C \min}}{K_D} = \frac{0,9}{0,1} = 9 \text{ В.}$$

Опір резистора R_9 дорівнює:

$$R_9 = \frac{U_{R_9}}{I_D} = \frac{9}{1 \cdot 10^{-3}} = 9 \text{ кОм.}$$

Приймаємо номінал опору резистора $R_9 = 9,1 \text{ кОм}$.

Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторі R_9 :

$$P_{R_9} = (I_D)^2 \cdot R_9 = (1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9,1 \cdot 10^3 = 9,1 \text{ мВт.}$$

Вибираємо резистор R_9 типу С2–14–0,125–9,1 кОм $\pm$ 5 % [21].

Розрахуємо номінал резистора R_7 :

$$R_7 = \frac{2 \cdot U_{ж}}{I_D} - (R_8 + R_9) = \frac{2 \cdot 15}{1 \cdot 10^{-3}} - (2 + 9,1) \cdot 10^3 = 18,9 \text{ кОм.}$$

Рекомендується виконати резистор R_7 складовим, $R'_7 = 18 \text{ кОм}$ і $R''_7 = 910 \text{ Ом}$. Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторах R'_7 і R''_7 :

$$P_{R'_7} = (I_D)^2 \cdot R'_7 = (1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 18 \cdot 10^3 = 18,0 \text{ мВт.}$$

$$P_{R''_7} = (I_D)^2 \cdot R''_7 = (1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 910 = 0,91 \text{ мВт.}$$

Вибираємо резистори R'_7 типу С2–14–0,125–18 кОм $\pm$ 5% [21].

R''_7 типу С2–14–0,125–910 Ом $\pm$ 5% [21].

Опір $R_5 + R_6 \gg R_8 + R_9 = 2 + 9,1 = 11,1 \text{ кОм}$, приймаємо номінал опорів резисторів: $R_5 + R_6 = 1 \text{ МОм}$. при $R_5 = R_6 = 499 \text{ кОм}$.

Вибираємо резистори $R_5 = R_6$ типу С2–14–0,125–499 кОм $\pm$ 5%. [21].

Вибираємо конденсатори C_2 типу КМ–6–0,1 мкФ $\pm$ 5%х25В [21].

Номінал опору R_4 вибираємо виходячи з необхідного коефіцієнта розподілу:

$$R_4 = \frac{K_D \cdot (R_5 + R_6)}{1 - K_D} = \frac{0,1 \cdot (499 + 499) \cdot 10^3}{1 - 0,1} = 110 \text{ кОм.}$$

Вибираємо резистор R_4 типу С2–14–0,05–110 кОм $\pm$ 5% [21].

Для балансування нуля в схемі підключення ОППС передбачений змінний резистор R_{10} типу С5-2ВА–0,5 Вт–100 кОм $\pm$ 5%.

Вибираємо конденсатори $C_3 = C_4 = C_5$ типу КМ–6–0,1 мкФ $\pm$ 5%х25В [21].

Вибираємо конденсатор C_1 типу КМ–6–10 пФ $\pm$ 5%х25В [21].

Напругу похибки на виході DA_1 визначимо по формулі [20, 22]:

$$\begin{aligned}
 U_{zc}(T \pm \Delta T = (20 \pm 20)^\circ C) &= U_{zc оп}(\Delta T) \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot \Delta T + \Delta I(\Delta T) \cdot R_2 \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot \Delta T = \\
 &= 3 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{1,1 \cdot 10^3}\right) \cdot 20 + 0,1 \cdot 10^{-9} \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot \left(1 + \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{1,1 \cdot 10^3}\right) \cdot 20 = \\
 &= 0,600 \cdot 10^{-3} + 0,0242 \cdot 10^{-6} = 0,62 \text{ мВ}.
 \end{aligned}$$

4.3 Розрахунок передкрайового каскаду підсилювача вимірювального каналу мутності питної води

Вимога до передкрайового каскаду підсилювача вимірювального каналу електронної системи мутності питної води:

- діапазон зміна вхідної напруги, U_{BX} , мВ від – 4,60 до 0;
- коефіцієнт підсилення за напругою підсилювача, K_{U2} + 21,0;
- вхідний опір ПКК, $R_{BX ПКК}$, кОм 10;
- діапазон робочих температур T , °С, від 0 до + 40.

Принципову схему передкрайового каскаду підсилювача вимірювального каналу системи контролю мутності питної води наведено на рисунку 4.5.

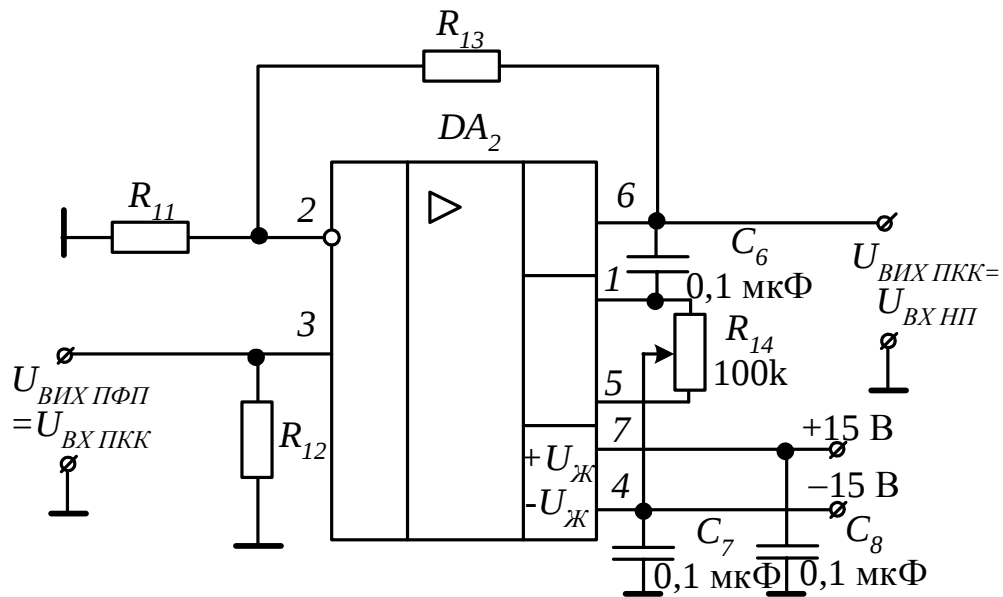


Рисунок 4.5 – Принципова схема передкрайового каскаду підсилювача вимірювального каналу системи контролю мутності питної води

Приймаємо $R_{12} = R_{11} = R_{н оп} = 10 \text{ кОм}$ (опору навантаження ОППС) тоді з урахуванням у необхідного коефіцієнта передачі за напругою розраховуємо опір зворотного зв'язку:

$$R_{13} = R_{11} \cdot (K_{U ПКК} - 1) = 10 \cdot (21,0 - 1) = 200,0 \text{ кОм}.$$

Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторах R_{11} і R_{12} :

$$P_{R_{11}} = P_{R_{12}} = \frac{(U_{BX ПКК})^2}{R_{11}} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-3})^2}{10 \cdot 10^3} = 2,1 \text{ нВт}.$$

Вибираємо резистори $R_{11} = R_{12}$ типу С2–14–0,125–10 кОм $\pm 5\%$ [21]

Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторі R_{13} :

$$P_{R_{13}} = \frac{(U_{BX ПКК} \cdot K_{U ПКК})^2}{R_3} = \frac{(4,60 \cdot 10^{-3} \cdot 21)^2}{200 \cdot 10^3} = 46,7 \text{ нВт}.$$

Напруга на виході передкрайового підсилювача від зміни мутності питної води дорівнює:

$$U_{ВИХ ПКК} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{мГ}}{\text{л}} \right) = U_{ВХ ПКК} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{мГ}}{\text{л}} \right) \cdot K_{У ПКК} = -4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 21 = -96,6 \text{ мВ};$$

$$U_{ВИХ ПКК} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{мГ}}{\text{л}} \right) = U_{ВХ ПКК} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{мГ}}{\text{л}} \right) \cdot K_{У ПКК} = 0 \cdot 21 = 0 \text{ мВ}.$$

Діапазон зміни вихідної напруги ПКК:

$$\Delta U_{ВИХ ПКК} = U_{ВИХ ПКК} \left(C_{tud} = 1 \frac{\text{мГ}}{\text{л}} \right) - U_{ВИХ ПКК} \left(C_{tud} = 15 \frac{\text{мГ}}{\text{л}} \right) = -96,6 - 0 = -96,6 \text{ мВ}.$$

Для балансування нуля в схемі підключення ОППС передбачений змінний резистор R_{14} типу С5-2ВА–0,5 Вт–100 кОм $\pm$ 5% [21].

Вибираємо конденсатори $C_6 = C_7 = C_8$ типу КМ–6–0,1 мкФ $\pm$ 5% $\times$ 25В [21].

Напругу похибки на виході DA_2 визначимо за формулою:

$$\begin{aligned} U_{3C} (T \pm \Delta T = (20 \pm 20)^0 \text{ C}) &= U_{3C ОП} (\Delta T) \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_1} \right) \cdot \Delta T + \Delta I (\Delta T) \cdot R_4 \cdot \Delta T = \\ &= 3 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + \frac{200 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \right) \cdot 20 + 0,1 \cdot 10^{-9} \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 20 = \\ &= 1,260 \cdot 10^{-3} + 0,40 \cdot 10^{-3} = 1,66 \text{ мВ}. \end{aligned}$$

4.4 Розрахунок нормуючого каскаду підсилювача вимірювального каналу мутності питної води

Вимога до нормуючого підсилювача вимірювального каналу електронної системи контролю мутності питної води:

- діапазон зміна вхідної напруги, U_{BX} , мВ від – 96,6 до 0;
- коефіцієнт підсилення за напругою підсилювача, K_{U3} – 26,45;
- діапазон зміна вихідної напруги, U_{AIN} , В від 0 до +2,5;
- вхідний опір НП, $R_{BX\text{ НП}}$, кОм 10;
- діапазон робочих температур T , °С, від 0 до + 40.

Принципову схему нормуючого підсилювача вимірювального каналу системи контролю мутності питної води наведено на рисунку 4.6.

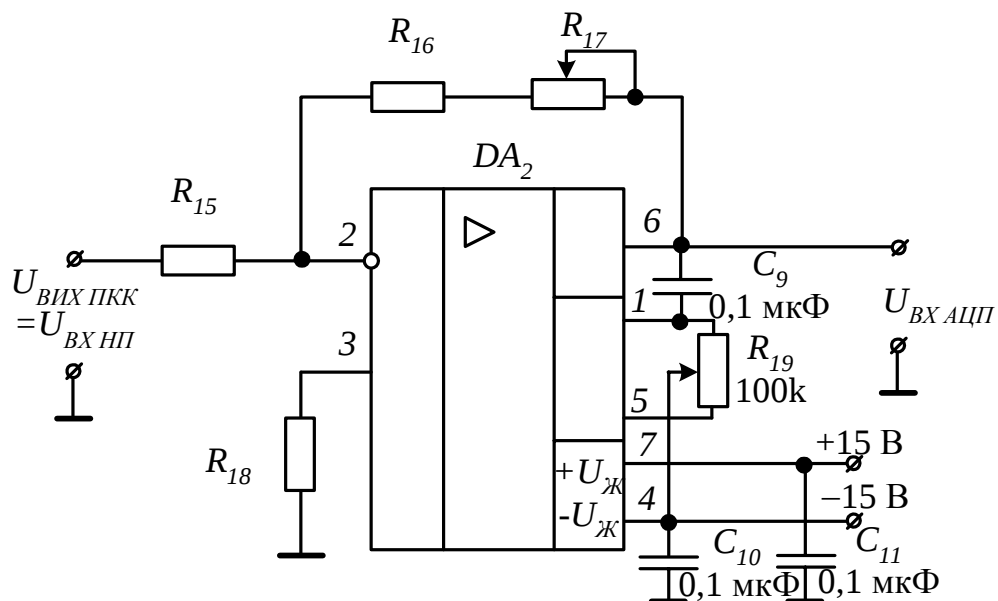


Рисунок 4.6 – Принципова схема нормуючого підсилювача вимірювального каналу системи контролю мутності питної води

Приймаємо $R_{15} = R_{НОП} = 10 \text{ кОм}$ (опору навантаження ОППС) тоді з урахування необхідного коефіцієнта передачі за напругою розраховуємо опір зворотного зв'язку:

$$R_{16} + R_{17} = R_{15} \cdot K_{U \text{ III}} = 10 \cdot 26,45 = 264,50 \text{ кОм.}$$

Вибираємо номінал резистору $R_{16} = 240 \text{ кОм.}$ Для забезпечення регулювання коефіцієнта передачі за напругою нормуючого підсилювача розраховуємо опір змінного резистора:

$$R_{17} = 2 \cdot ((R_{16} + R_{17}) - R_{16}) = 2 \cdot (264,5 - 240) = 49,0 \text{ кОм.}$$

Приймаємо номінал резистору $R_{17} = 51 \text{ кОм.}$ Діапазон зміни коефіцієнта підсилення за напругою нормуючого підсилювача:

$$K_{U \text{ III min}} = -\frac{R_{16}}{R_{15}} = -\frac{240}{10} = -24;$$

$$K_{U \text{ III max}} = -\frac{R_{13} + R_{14}}{R_{12}} = \frac{240 + 51}{10} = -29,1.$$

Для забезпечення компенсації зсуву нуля ОППС, яке викликано вхідними струмами, неінвертуючий вхід ОП необхідно з'єднати із загальною шиною через резистор R_{18} , опір якого визначається величиною паралельно включеного опору зворотного зв'язку $R_{16} + R_{17}$ та вхідним опором нормуючого підсилювача R_{15} :

$$R_{18} = \frac{R_{15} \cdot \left(R_{16} + \frac{R_{17}}{2} \right)}{R_{15} + \left(R_{16} + \frac{R_{17}}{2} \right)} = \frac{10 \cdot \left(240 + \frac{51}{2} \right)}{10 + 240 + \frac{51}{2}} = 9,63 \text{ кОм.}$$

Приймаємо номінал опору $R_{18} = 10 \text{ кОм.}$ Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторах R_{15} і R_{18} :

$$P_{R_{15}} = \frac{(U_{BX HY})^2}{R_{12}} = \frac{(0,0966)^2}{10 \cdot 10^3} = 0,93 \text{ мкВт.}$$

Вибираємо резистори $R_{15} = R_{18}$ типу С2–14–0,125–10 кОм $\pm$ 5 % [21].

Розрахуємо потужність, що розсіюється на резисторі R_{16} :

$$P_{R_{16}} = \frac{(U_{ВЛХ НЛ})^2}{R_{16}} = \frac{2,5^2}{240 \cdot 10^3} = 26,0 \text{ мкВт.}$$

Вибираємо резистор R_{16} типу С2–14–0,05–240 кОм $\pm$ 5% [21].

Розрахуємо потужність, що розсіюється на опорі R_{17} :

$$P_{R_{17}} = \frac{(U_{ВЛХ НЛ})^2}{R_{17}} = \frac{2,5^2}{51 \cdot 10^3} = 0,12 \text{ мВт.}$$

Вибираємо резистор R_{17} типу СП2–14–0,125–51 кОм $\pm$ 10% [21].

Для балансування нуля в схемі підключення ОППС передбачений змінний резистор R_{19} типу С5-2ВА–0,5 Вт–100 кОм $\pm$ 10% [21].

Вибираємо конденсатори $C_9 = C_{10} = C_{11}$ типу КМ–6–0,1 мкФ $\pm$ 5% $\times$ 25В [21].

Напругу похибки на виході DA_3 визначимо за формулою:

$$\begin{aligned} U_{3C}(T \pm \Delta T = (20 \pm 20)^0 C) &= U_{3C ОП}(\Delta T) \cdot \left(1 + \frac{R_{16} + \frac{R_{17}}{2}}{R_{15}}\right) \cdot \Delta T + \Delta I(\Delta T) \cdot \left(R_{16} + \frac{R_{17}}{2}\right) \cdot \Delta T = \\ &= 3 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + \frac{240 + \frac{51}{2}}{10}\right) \cdot 20 + 0,1 \cdot 10^{-9} \cdot \left(240 + \frac{51}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 20 = \\ &= 1,65 \cdot 10^{-3} + 0,53 \cdot 10^{-3} = 2,20 \text{ мВ.} \end{aligned}$$

Абсолютна похибка, яка приведена до виходу аналогового каналу електронної системи контролю мутності питної води:

$$\begin{aligned}\Delta_{AIN} &= \sqrt{(\Delta_{ППФ} \cdot K_{U2} \cdot K_{U3})^2 + (\Delta_{ПКК} \cdot K_{U3})^2 + (\Delta_{НП})^2} = \\ &= \sqrt{(0,62 \cdot 10^{-3} \cdot 21,0 \cdot 26,45)^2 + (1,66 \cdot 10^{-3} \cdot 26,45)^2 + (2,20 \cdot 10^{-3})^2} = \\ &= \pm 34,7 \text{ мВ.}\end{aligned}$$

Принципову схему аналогового вимірювального каналу електронної системи контролю мутності питної води наведено на рисунку 4.7.

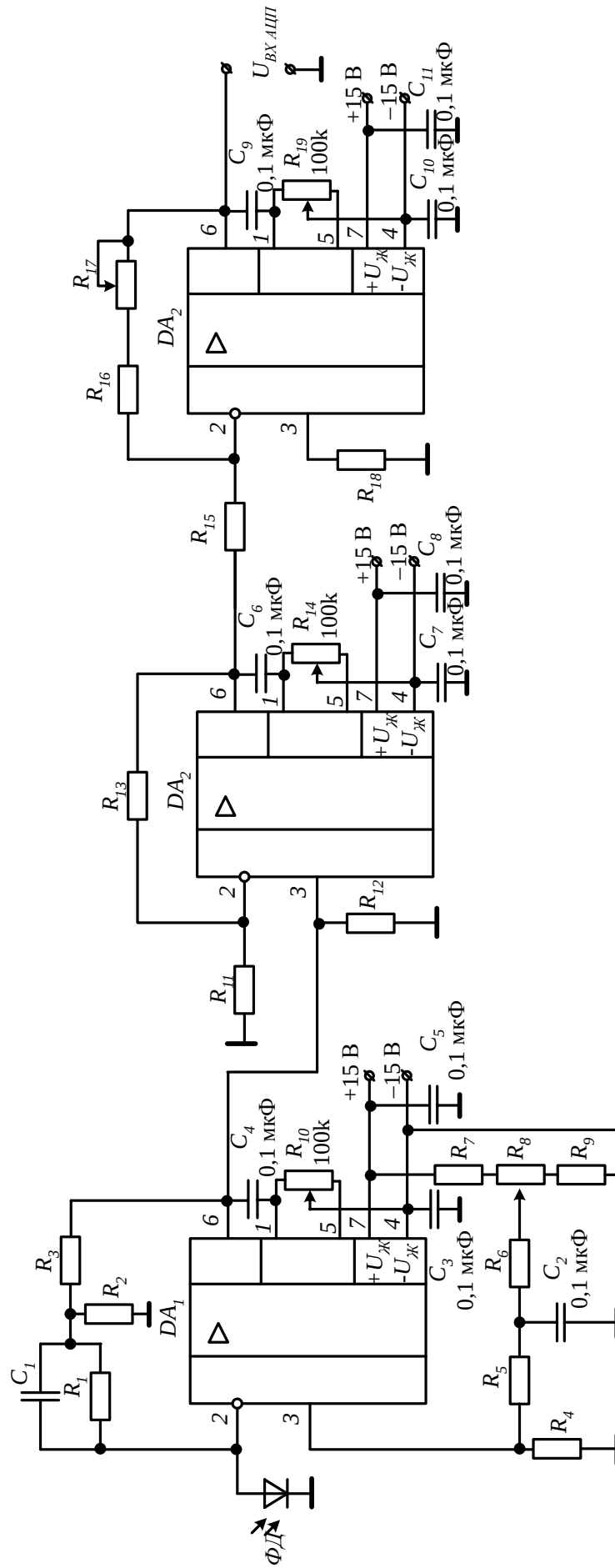


Рисунок 4.7 – Принципова схема вимірювального каналу електронної системи контролю мутності питної води

4.5 Розробка конструкції електронної системи вимірювання мутності питної води

Зовнішній вигляд електронної системи вимірювання мутності питної води наведено на рисунку 4.8, де 1 – оптичний вимірювальний канал електронної системи визначення мутності питної води.

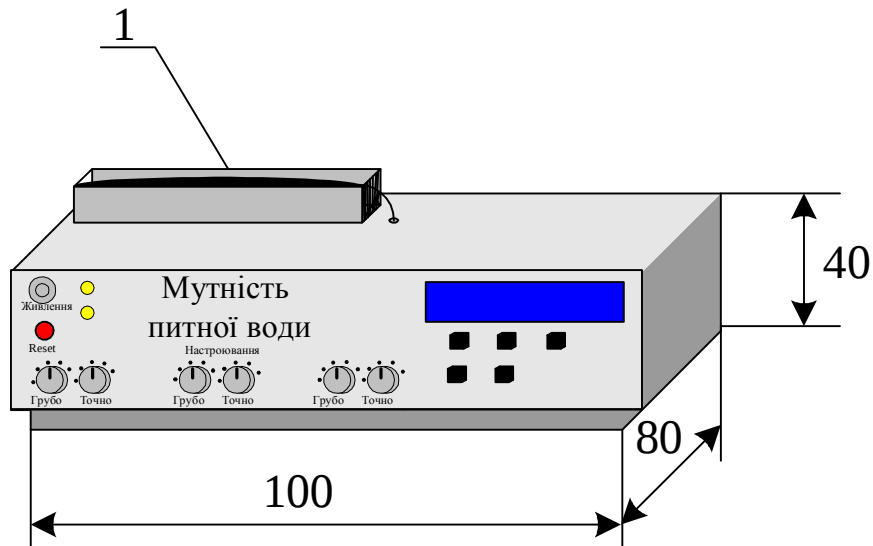


Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд електронної системи вимірювання мутності питної води

На лицьовій стороні корпусу блоку керування та індикації розташовані:

- світлодіодні індикатори;
- кнопка «вкл/викл» – вмикання/вимикання системи;
- рідкокристалічний індикатор для відображення значення мутності питної води, що визначається;
- ручки настройки роботи електронної системи;
- клавіатура.

При вмиканні електронної системи починається аналіз зразка питної води в оптичному каналі. Результат висвічується на індикаторі в одиницях мутності, тобто в NTU. Перед початком роботи з електронною системою необхідно перевірити її справність. Спочатку в оптичний канал вставляють колбу з чистим повітрям, і якщо на індикаторі не нуль, то підстроюють зсув нуля за

допомогою ручок на лицьовій панелі поки не з'явиться нуль. Потім вставляють колбу з максимальною мутністю 10 NTU. Якщо на індикаторі значення не 10, то підстроюють коефіцієнт передачі за допомогою ручок на лицьовій панелі. Всі настройки проводяться спочатку грубо, а потім точно.

Зовнішній вигляд лицьової панелі електронної системи визначення мутності питної води наведено на рисунку 4.9.

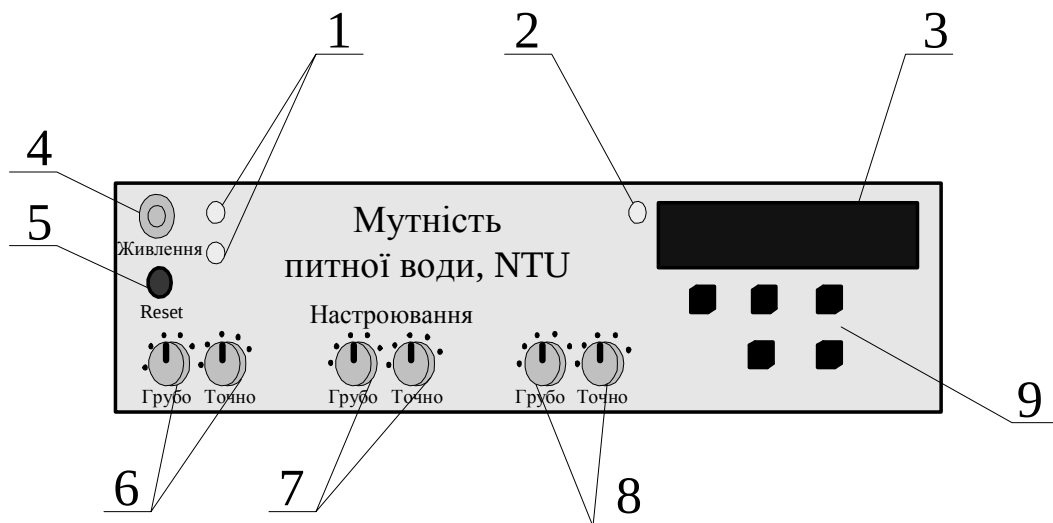


Рисунок 4.9 – Зовнішній вигляд лицьової панелі електронної системи вимірювання мутності питної води

На лицьовій панелі електронної системи знаходяться рідкокристалічний індикатор (3) для відображення мутності питної води та світлодіодні індикатори:

- 1 – сигналізує про те, що включене живлення електронної системи;
- 2 – сигналізує про те, що максимальне значення мутності питної води.

На лицьовій панелі є кнопка «вкл/викл» (4) – вмикання/вимикання системи і кнопка скидання (5). На лицьовій панелі також знаходяться ручки, які коректують адитивний (6) та мультиплікативний (7 – 8) зсув електронної системи. За їх допомогою перевіряють та настраюють система перед початком роботи. Під номером (9) розташовано кнопки, функції яких полягають у наступному:

- зміна за діапазонами (вручну або автоматично);
- корекція нуля;
- примусова передача інформації в протокол RS485;
- примусова передача інформації на відображення;
- скидання інформації за напругою.

ВИСНОВКИ

Розроблено електронну систему вимірювання мутності питної води, яка призначений для застосування в технології водопідготовки, очищення стічних вод, в різноманітних процесах осадження. Діапазон вимірювання системи охоплює широкий круг можливих застосувань від чистої води після піщаного фільтру, де оптичний принцип вимірювання фактично знаходиться на межі своєї застосування, до вимірювання в потоці мула. Електронна система застосовує принцип вимірювання розсіяного світла під кутом 90° , який відповідає нормам DIN/ISO і забезпечує вимірювання в більшості стандартних задач.

Метою розробки є підвищення чутливості й точності вимірювання мутності питної води за вдяки використанню додаткового вимірювального каналу розсіяного світла під кутом 90° . Використання декількох датчиків розсіяного світла під різними кутами підвищує точність визначення мутності, бо частинки різного розміру відбивають світло під різними кутами не рівномірно.

«Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) за наслідками впливу на здоров'я мутність не нормує, проте з погляду зовнішнього вигляду рекомендує, щоб мутність була не вищою 5 NTU (нефелометрична одиниця мутності), а для цілей знезараження – не більш 1 NTU. Співвідношення між основними одиницями вимірювання мутності $1 \text{ FTU (ЕМФ)} = 1 \text{ FNU} = 1 \text{ NTU}$.

Перерахунок в мг/л залежить від матеріалу и сильно змінюється від $1 \text{ NTU} = 0,13 \text{ мг/л}$ (кремнезем у вигляді діатоміту) до 1 мг/л (каоліну).

Вимоги до вимірювального контролю мутності питної води:

- діапазон вимірювання мутності, NTU від 0 до 10;
- який відповідає:
 - за кремнеземом у вигляді діатоміту, мг/л від 0 до 1,3;
 - за каоліном, мг/л від 0 до 10;
- абсолютне значення основної похибки вимірювання мутності, Δ_{NTU} $\pm 0,05$;

– відносне значення похибки вимірювання мутності, δ_{NTU} $\pm 0,5$ »

«Фотометричний метод є єдиним розповсюдженим методом визначення мутності питної води. Турбідиметричний та нефелометричний метод є схожими методами, які відрізняються тим, що нефелометрія характеризує кількісну оцінку відбитого світла, що розсіюється від часток, а турбідиметрія – оцінка світла, що проходить крізь суспензію з непрозорими частками».

Нефелометричний метод з'явився як розвиток турбідиметричного методу та у теперішній час турбідиметрія являє собою частку нефелометрії.. На практиці можна створювати нефелометри, які будуть реєструвати світло не тільки на куті 90° , але і на будь-яких інших кутах, в тому числі і нульовому, як у турбідиметрії.

Виконано проектування електронної системи: розроблена структурна схема, принципова електрична схема вимірювального каналу мутності питної води виконано оцінку метрологічних характеристик розробленого каналу.

Конструктивно електронну вимірювальну систему виконано у вигляді блоку обробки поточної інформації, який виконує всі необхідні розрахунки та відображення інформації про мутність питної води на рідкокристалічному індикаторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голицын, А.Н. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды: учебник / А.Н. Голицын, XX: ОНИКС, 2010. – 335 с.
2. Банников, А.Г. Основы экологии и охраны окружающей среды / А.Г Банников, А.А. Вакулин, А.К. Рустамов. – М.: Колос. – 1996. – 303 с.
3. Крешкова, А.П. Основы теоретической химии. Теоретические основы. Качественный анализ / А.П. Крешкова. – М.: Химия. – 1970. – 472 с.
4. Лебедева, М.И. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: учебное пособие / М.И. Лебедева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 216 с.
5. Лурье, Н.Н. Справочник по аналитической химии / Н.Н. Лурье. – М.: Химия, 1971. – 453 с.
6. Булатов, М.И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа / М.И. Булатов, И.П. Калинин. – 5-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1986. – 432 с.
7. Булатов, М.И. Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам анализа / М.И. Булатов, И.П. Калинин. – 4-е изд., пер. и доп.. – Л.: Химия, 1976. – 376 с.
8. Пилипенко, А.Т. Аналитическая химия. В двух книгах: кн..1 / А.Т. Пилипенко, И.В. Пятницкий. – М.: Химия, 1990. – 480 с.
9. Васильев, В.П. Аналитическая химия. В 2 ч. Ч. 2. Физико-химические методы анализа: учеб. для химко-технол. спец. вузов / В.П. Васильев. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
10. Топорец, А.С. Монохроматоры / А.С. Топорец. – М.: Гостехтеориздат, 1955. – 264 с.
11. Шишловский, А.А. Прикладная физическая оптика / А.А. Шишловский. – М.: Физматгиз, 1961. – 811 с.
12. Пейсахсон, И.В. Оптические спектральные приборы / И.В. Пейсахсон. – Л.: Энергия, 1975. – 136 с.

13. Толмачев, Ю.А. Новые спектральные приборы. Принципы работы. / Ю.А. Толмачев. – Л.: ЛГУ, 1976. – 126 с.
14. Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976. – 928 с.
15. Жиглинский, А.Г. Реальный интерферометр Фабри-Петро / А.Г. Жиглинский, В.В. Кучинский. – Л.: Машиностроение, 1983. – 176 с.
16. Запорожченко, В.М. Розробка та обґрунтування структури електронної системи вимірювання мутності питної води / В.М. Запорожченко, А.А. Зорі // Зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених «Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології», 29-30 лист. 2017 р. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – С. 20 – 23.
17. Запорожченко, В.М. Розробка математичної моделі оптико-електронного вимірювального каналу мутності питної води / В.М. Запорожченко, А.А. Зорі // Зб. наукових праць IV Всеукр. наук.-техн. конф. молодих учених, аспірантів та студентів «Автоматизація, контроль та управління: пошук ідей та рішень» (АКУ-2018), 22 – 23 травн. 2018 р. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. – С. 96 – 99.
18. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – [4-е изд., доп.]. – М.: Высш. шк., 2006. – 799 с.
19. Хоровиц, П. Искусство схемотехники: монография / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: БИНОМ, 2009. – 704 с.
20. Щербаков, В.И. Электронные схемы на операционных усилителях: справочник / В.И. Щербаков, Г.И. Гнездов. – К.: Техника, 1983. – 213 с.
21. Терещук, Р.М. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: справочник радиолюбителя / Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. – 4-е изд. стер. – К.: Наукова думка, 1989. – 800 с.
22. Основи технічної електроніки: підручник у 2 т. Т. 2. Схемотехніка / В.І. Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі та ін. – К.: Вища шк., 2007. – 512 с.
23. Скаржепа, В.А. Электроника и микросхемотехника: сборник задач / В.А. Скаржепа, В.И. Сенько; под. общ. ред. А.А. Краснопрошиной. – К.: Вища школа, 1989. – 232 с.

24. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника: в 2 т.: пер. с нем. – Т.1. – / У. Титце, К. Шенк. – М.: Додэка–XXI, 2008. – 832 с.

25. Опадчий, Ю.Ф. / Аналоговая и цифровая схемотехника (Полный курс): учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.

26. Жидецький, В.Ц. Практикум із охорони праці / Жидецький В.Ц. та ін. – Л.: Афіша. – 2000 – 349 с.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

А.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу

Робочим приміщенням, у якому розроблялася магістерська робота, є науково-дослідницький відділ розмірами 5 метрів на 3 метри. У приміщенні розташовані 1 комп'ютер потужністю 0,5 кВт/год., 1 монітор потужністю 0,1 кВт/год., 1 ноутбук потужністю 0,07 кВт/год., 2 принтери потужністю 0,4 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 2,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 1-ому поверсі адміністративного будинку цегельної будівлі та за своїх характеристикам цілком відповідає вимогам СІ І і П 2.09.04 – 87 «Адміністративні і побутові будинки виробничих підприємств», а також СП 512 – 78 «Інструкція з проектування будинків і приміщень ЕОМ».

Діяльність працівників відділу напряму пов'язана з роботою на комп'ютерному обладнанні (ноутбук або стаціонарний комп'ютер) та користуванням мобільними телефонами. До основних шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, які пов'язані з роботою на персональному комп'ютері належать: напруга зорових органів та пов'язане з нею перевтомлення; значне навантаження на кисті рук та пальці; тривале знаходження в сидячій позі, що викликає застійні явища в організмі; випромінювання різного виду (рентгенівське, електромагнітне, інфрачервоне, статистичні поля); механічні шуми, пов'язані з роботою кулера, дискового приводу, оргтехніки; іонізація повітря; виділення в повітря робочого приміщення різних хімічних речовин (озон, триметілфосфат, біфеніли).

Мобільний телефон є також джерелом електромагнітного випромінювання, на яке організм певним чином реагує. Наукові дослідження підтверджують негативний вплив таких пристроїв на мозок. Але вплив мобільного апарату на організм користувача і досі не є достатньо вивченим.

До психологічно шкідливих факторів, які впливають на людину при

роботі з комп'ютером можна віднести розумову напругу та нервово-емоційне перевантаження, які виникають внаслідок підвищеної концентрації уваги.

Всі ці фактори негативно впливають на здоров'я працівників науково-дослідного відділу та сприяють виникненню професійних захворювань: комп'ютерний зоровий синдром; радіохвильова хвороба; синдром висихання рогівки ока; кистьовий тунельний синдром; захворювання шкіри; захворювання кишкового тракту; серцево-судинні захворювання.

Негативними наслідками регулярного використання мобільного телефону є ослаблення пам'яті, часті головні болі, зниження уваги, напруга в барабанних перетинках, порушення сну, дратівливість та ін.

A.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища на працівників науково-технічного відділу необхідно вжити заходів щодо поліпшення їх умов праці. Розміщення робочих місць з ПК у підвальних приміщеннях та на цокольних поверхах заборонено. Кімната, у якій розташоване робоче місце з ПК повинна мати природне освітлення, яке здійснюється через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід. Віконні прорізи такого приміщення мають бути обладнані регульованими пристроями (жалюзі, завіски, зовнішні козирки). Також приміщення має бути обладнане системою опалення, кондиціонування повітря, або припливно-витяжною вентиляцією для забезпечення оптимальних показників мікроклімату. Загальний контур заземлення будівлі повинен бути виведений через розетку на кожне робоче місце з ПК. Забороняється для оздоблення інтер'єру приміщень з ПК застосовувати полімерні матеріали (деревинно-стружкові плити, шпалери, що миються, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. У приміщеннях, де розташовано монітори, потрібно виконувати заходи щодо боротьби зі статичним полем. Найбільш простим

способом відповідно до рекомендацій є підтримка відносної вологості повітря на рівні (50 – 60)%, заземлення усіх приладів, а також використання для підлоги антистатичного ліноліму. Площа на одне робоче місце з ПК має становити не менше ніж $6,0 \text{ м}^2$, а об'єм не менше ніж $20,0 \text{ м}^3$. Відстань від робочого місця з ПК до стіни з вікном повинна становити не менше ніж 1,5 м; від інших стін – на відстані 1 м, а відстань між столами – 1,5 м.

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища робоче місце з ПК повинно відповідати наступним гігієнічним вимогам: екран та клавіатура повинні розташовуватись на оптимальній відстані від очей користувача, що становить (600...700) мм; висота робочої поверхні робочого столу має регулюватися в межах (680...800) мм; робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги – ніж 650 мм.

Для зменшення негативного впливу мобільного апарату необхідно: скоротити до мінімуму час розмови по телефону; обирати мобільний телефон з мінімальним значенням SAR (Specific Absorbition Rate) – одиниця вимірювання питомої величини поглинання випромінювання організмом людини; максимальна потужність випромінювання телефону. Максимальне значення SAR у Європі складає 2 Вт/кг; підносити термінал до вуха після з'єднання з абонентом, оскільки під час здійснення з'єднання збільшується потужність випромінювання телефону.

Розташування робочих місць з ПК у науково-дослідного відділу зображено на рисунку А.1. При аналізі облаштованості робочих місць з ПК в науково-дослідному відділі виявлені наступні порушення:

1. Один робочий стіл, обладнаний із ПК1 перебуває напроти вікна, у такий спосіб працюючий звернений до вікна, що заборонено;
2. Одне робоче місце ПК2 розташоване від стін на відстані 0,4 м та 0,5 м, а воно повинно розташовуватися на відстані не менш 1 м.

Відповідно до проведених досліджень рекомендується провести такі

заходи щодо поліпшення робочих місць:

1. Перемістити одне робоче місце (ПК1) від стіни на відстань 1 м;
2. Поставити стіл з ПК2 таким чином, щоб світло падало на нього збоку на відстані 1,5 м від вікна.

У такий спосіб робочі місця користувачів ПК у відділі будуть розташовані згідно ДСТУ і будуть мати вигляд представлений на рисунку А.2.

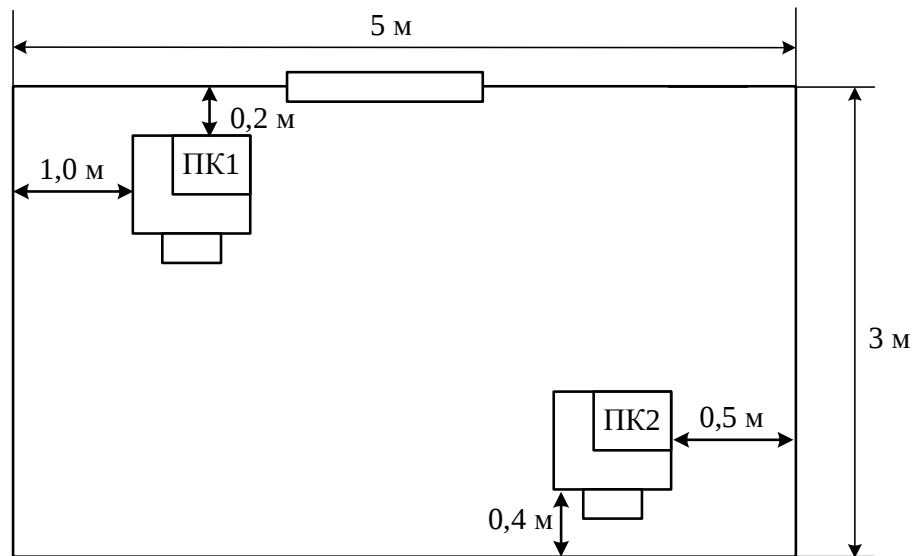


Рисунок А.1 – Облаштованість робочих місць із ПК науково-дослідного відділу

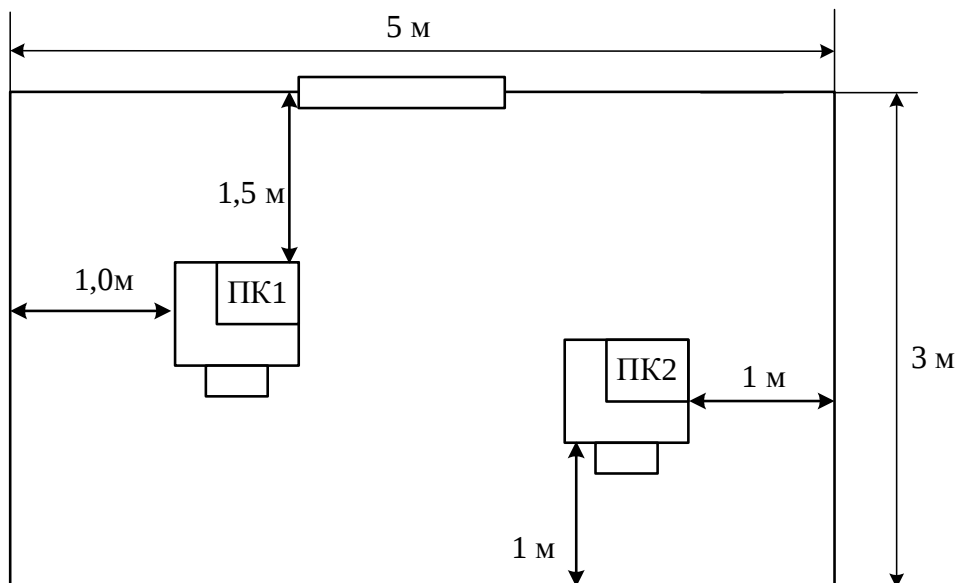


Рисунок А.2 – Облаштованість робочих місць із ПК науково-дослідного відділу згідно ДСТУ

А.2.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (A.1)$$

де $Q_{НАД}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР}, \quad (A.2)$$

де $Q_{УСТ}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{ПЕР}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{ОСВ}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{СР}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{УСТ} = P \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860, \quad (A.3)$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_{σ} – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned}
Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\
&+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 = \\
&= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\
&+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.}
\end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год.}, \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 15 = 225 \text{ ккал/год.}, \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м^2 підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м^2 .

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{ср} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год.}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}} = 5131 + 200 + 225 + 195 = 5751 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot \rho \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5751}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 1979 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=5$ м), ширина ($b=3$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70 \%$,

$P_{\text{стін}} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E = 300$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{5 \cdot 3}{2^2} = 3,75.$$

Приймаємо 4 світильники, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 2 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{л} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світлового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{5 \cdot 3}{3,5 \cdot (5 + 3)} = 0,54.$$

З таб. 3.25 [32] знаходимо коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$; $P_{стелі} = 70\%$, $P_{стін} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{л} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 2683,3 \text{ лм.}$$

9) З Таб. 3.27 [32] обираємо лампу Г-200 потужністю 200 Вт, світловий потік якої становить 2800 лм. Хоча це значення на 4% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{л} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{CB} = P \cdot N = 200 \cdot 4 = 800 \text{ Вт.}$$

А.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони.

У приміщенні науково-дослідного відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає. Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень. Вона є обов'язковою для виконання всіма співробітниками.

У інструкції про засоби пожежної безпеки для службових приміщень забороняється:

- улаштовувати тимчасові електромережі, застосовувати саморобні плавкі вставки в запобіжниках, прокладати електричні проводи безпосередньо по пальній основі, експлуатувати світильники зі знятими ковпаками (розсіювачами), використовувати саморобні подовжувачі, що не відповідають вимогам «Правил пристрою електроустановок»;

- пристосовувати вимикачі, штепсельні розетки для підвішування одягу й інших предметів, обгортати електролампи і світильники, заклеювати ділянки електромережі пальною тканиною, папером;

- використовувати побутові електрокип'ятильники, чайники тощо без непальних підставок, залишати без нагляду включеними в електромережу кондиціонери, комп'ютери, рахункові і друкарські машинки і т.п.;

- захаращувати підступи до засобів пожежогасіння, використовувати пожежні крани, рукави і пожежний інвентар не по призначенню, зберігати документи, різні матеріали, предмети й інвентар у шафах (нішах) інженерних комунікацій;

- курити (крім спеціально відведених для цього адміністрацією місць, позначених написом «Місце для паління» і забезпечених урною чи попільницею з непального матеріал), проводити зварювальні й інші вогневі роботи без оформлення відповідного дозволу, застосовувати легкозаймисті рідини.

А.4 Безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві

Об'єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є науково-дослідний відділ. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожежу внаслідок короткого замикання в електромережах або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в науково-дослідному відділі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем и засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю; у разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, накопичуються токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{16} = 6 \text{ м}, \quad (\text{A.7})$$

де P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі.

При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення паніки. З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього

необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам. Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та ін. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певній мірі захищає від продуктів горіння.

Рухатись у задимленій зоні поповзом або максимально пригнувшись, необхідно тому що більшість нагрітих газоподібних отруйних речовин та дим збираються у верхній зоні приміщення, окрім цього, в приміщенні при горінні температура на рівні очей людини у 6 разів вище за температуру на рівні полу, до того ж внизу завжди зберігається більша концентрація кисню. Коли ви опинились біля вікна трохи відкрийте його та дихайте через щілину, очікуючи прибуття пожежників. При їх прибутті негайно зверніть на себе увагу. Ніколи не стрибайте через вікно без відомої на це необхідності (кожний другий стрибок з 4-го поверху при пожежі смертельний).