

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)

«___» _____ 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання вмісту
іонів металів у воді»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛТМ-19

(шифр групи)

спеціальності 171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

Фомін Віталій Віталійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф.

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

О.В. Вовна

(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 – 2020 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

(освітній ступінь)

Тема: «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання вмісту іонів металів у воді»

Виконавець, студент

гр. ЕЛТм-19

Фомін В.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Керівник

д.т.н., проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Консультанти:

к.т.н., доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.Б.)

д.т.н., проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.Б.)

ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Нормоконтроль

д.т.н., проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Покровськ – 2020 р.

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.
«___» _____ 2020 року

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

Фомін Віталій Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання вмісту іонів металів у воді»

керівник проекту (роботи) Вовна Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.09.2020 року № 693

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; план експерименту тестування апаратно-програмних компонент електронної системи; обґрунтування та розробка структурної схеми та алгоритмічного забезпечення системи; програмне забезпечення бездротового обміну інформацією.

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, 2	д.т.н., проф., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
3	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
4	к.т.н., доц., 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 і логічне узагальнення методів і засобів вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів в умовах річки Сіверський Донець	22.09.2020	
2	Математичне моделювання електронної системи вимірювання концентрації іонів важких металів у воді	28.10.2020	
3	Способи та засоби підвищення точності електронної системи	23.11.2020	
4	Розширення функціональних можливостей електронної системи	10.12.2020	
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві	17.12.2020	

Студент

(підпис)

Фомін О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Вовна О.В.

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

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

АНОТАЦІЯ

Фомін, В.В. Розробка та дослідження електронної системи вимірювання вмісту іонів металів у воді / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2020 р.

Обсяг пояснювальної записки: 85 стор. із них 67 стор. основного тексту, 7 таблиць, 43 рисунки, перелік посилань із 22 джерел та 1 додаток на 12 сторінок.

Мета роботи полягає в розробці та дослідженні електронної системи вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Об'єкт дослідження – електронна система вимірювального неруйнівного контролю концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Предмет дослідження – підвищення ефективності електронної системи вимірювального неруйнівного контролю концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Методи дослідження: методи комп'ютерного та імітаційного моделювання, теорія ймовірності, теорія точності й концепція невизначеності, аналіз і синтез електронних систем, планування фізичного експерименту.

Екологічна проблема якості річкових водних ресурсів є однією з найбільш актуальних екологічних проблем Донецької області. З обліком незначної кількості атмосферних опадів та їх значної випаровуваності стає зрозумілим, чому саме (проблема водопостачання) є для даного регіону однією з найактуальніших. Актуальність цієї проблеми не викликає сумнівів. Забруднення природних вод важкими металами викликає значну загрозу для життя і здоров'я населення, а так само для існування біосфери в цілому. Отже, кількісна й якісна оцінка стану водних середовищ і вимірювання концентрацій іонів важких металів є одними з найбільш актуальних завдань для екологічної охорони водних середовищ.

У випускній кваліфікаційній роботі магістра досягнута основна мета дослідження шляхом обґрунтування структури та експериментальних випробувань електронної системи вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Ключові слова: електронна система, вода, потенціометрія, точність, експресність.

ABSTRACT

Fomin, V.V. Development and research of the electronic measuring system of the metal ions content in water / Graduate qualification work for the master's degree on specialty 171 Electronics. – SHEI 'DonNTU', Pokrovsk, 2020

Explanatory note: 85 p., 43 figs., 7 tables, 22 references.

The main purpose of the work is development and research of the electronic system for determining of the heavy metal ions concentration in natural aquatic environments.

The object of study is the electronic system for determining of the heavy metal ions concentration in natural aquatic environments.

The subject of the study is efficiency increasing of the electronic system for determining of the heavy metal ions concentration in natural aquatic environments.

Research methods: computer simulation methods, probability theory, accuracy theory and uncertainty concept, analysis and synthesis of electronic systems, physical experiment planning.

Contamination of natural waters with heavy metals poses a significant threat to the life and health of the population, as well as to the existence of the biosphere as a whole. Therefore, quantitative and qualitative assessment of the aquatic environments state and determination of the heavy metal ions concentrations are one of the most urgent tasks for the ecological protection of aquatic environments.

In the final qualification work of the master's degree have been achieved the main goal of the study by substantiating the structure and experimental testing of the

electronic system for determining of the heavy metal ions concentration in natural aquatic environments.

Key words: electronic system, water, potentiometry, accuracy, expressiveness.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ І ЛОГІЧНЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В УМОВАХ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ.....	13
1.1 Аналіз природних та стічних вод річки Сіверський Донець.....	13
1.2 Інформаційний аналіз методів неруйнівного вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у стічних і природних водах.....	16
1.3 Обґрунтування методу неруйнівного вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у природних та стічних водах річки.....	24
1.4 Критичний аналіз відомих засобів вимірювання концентрації іонів важких металів у воді.....	26
1.5 Напрямки досліджень.....	31
1.6 Висновки за розділом.....	32
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ВОДІ.....	34
2.1 Кількісний аналіз дестабілізуючих факторів.....	34
2.2 Математична модель формування інформаційного сигналу.....	41
2.3 Математична модель аналогового вимірювального блоку електронної системи.....	44
2.4 Висновки за розділом.....	51
3 СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	53

3.1	Структурний підхід до підвищення точності електронної системи.....	53
3.2	Алгоритмічний підхід до підвищення точності електронної системи.....	55
3.3	Оцінка метрологічних характеристик досліджуваної електронної системи.....	56
3.4	Висновки за розділом.....	60
4	РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ.....	61
4.1	Обґрунтування впровадження бездротової технології обміну інформацією.....	61
4.2	Моделювання модуля бездротового обміну інформацією.....	63
4.3	Програмна компонента підсистеми обміну інформацією.....	66
4.4	Висновки за розділом.....	68
	ВИСНОВКИ.....	69
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71
	Додаток А – Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	73

ВСТУП

З огляду господарської діяльності мешканців східної частини України Сіверський Донець є найбільш значущою річкою нашого регіону. Басейн Сіверського Донця має вирішальне соціальне й економічне значення для Донбасу. На теперішній час екологічна громадськість Донбасу стурбована екологічно-кризовим станом річки, а проблеми охорони басейну річки Сіверський Донець і раціонального використання набувають більш важливе й гостре значення для регіону. Річки басейну приймають значну кількість стічних вод від металургійних та хімічних підприємств області. Важкі метали потрапляють у природні води з використаними промисловими водами, що містять різноманітні хімічні сполуки, з дощовою водою, що фільтрується через відвали.

Актуальність теми дослідження. Екологічна проблема якості річкових водних ресурсів є однією з найбільш актуальних екологічних проблем Донецької області. З обліком незначної кількості атмосферних опадів та їх значної випаровуваності стає зрозумілим, чому саме (проблема водопостачання) є для даного регіону однією з найактуальніших. Актуальність цієї проблеми не викликає сумнівів. Варто зазначити, що для важких металів не існує раціональних і надійних механізмів самоочищення. Важкі метали лише перерозподіляються з одного природного середовища в інше, а й вступають у взаємодію з різними живими організмами.

Забруднення природних вод важкими металами викликає значну загрозу для життя і здоров'я населення, а так само для існування біосфери в цілому. Отже, кількісна й якісна оцінка стану водних середовищ і визначення концентрацій іонів важких металів є одними з найбільш актуальних завдань для екологічної охорони водних середовищ.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи полягає в розробці та дослідженні електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Об'єкт дослідження – електронна система вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Предмет дослідження – методи, алгоритми і засоби підвищення ефективності електронної системи вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Методи дослідження: методи комп'ютерного та імітаційного моделювання, теорія ймовірності, теорія точності й концепція невизначеності, аналіз і синтез електронних систем, планування фізичного експерименту.

Для досягнення поставленої мети поставлені та вирішені наступні задачі роботи:

1. Аналіз і логічне узагальнення методів і засобів вимірювання концентрації іонів металів.

2. Розробка математичної моделі об'єкта контролю (електронної системи) з обліком зміни концентрації іонів металів за двома каналами та рівнями температури.

3. Розробка математичної моделі структурних блоків електронної інформаційно-вимірювальної системи концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

4. Обґрунтування способів підвищення точності електронної системи вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

5. Обґрунтування компонентної бази і алгоритмів функціонування електронної системи вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Наукова новизна одержаних результатів у магістерській роботі:

1. Обґрунтовано математичну модель електронної системи неруйнівного вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах з обліком дестабілізуючих факторів.

2. Синтезовано структурно-алгоритмічну організацію електронної інформаційно-вимірювальної системи визначення концентрації іонів важких

металів у природних водних середовищах.

Практичне значення одержаних результатів у магістерській роботі: розроблено електронну систему неруйнівного вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах на базі сучасної доступної компонентної бази й широковикористовуваних інфокомунікаційних технологій із задовільними техніко-функціональними параметрами та метрологічними характеристиками.

Особистий внесок здобувача. Автором кваліфікаційної роботи магістра самостійно були розроблені алгоритми функціонування пристрої, математичні моделі вузлів і блоків системи, запропонована структурна схема вимірювальних каналів та електронної системи у цілому.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура кваліфікаційної роботи магістра визначена загальною схемою та підходами до проведення наукових досліджень з обліком сучасних тенденцій розвитку науки і техніки, метою досліджень та шляхами її досягнення. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків та переліку використаної літератури. Загальний обсяг роботи містить 85 сторінок машинописного тексту, зокрема 67 сторінок основного тексту, 43 рисунка, 7 таблиць та перелік використаної літератури із 22 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ І ЛОГІЧНЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В УМОВАХ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

1.1. Аналіз природних та стічних вод річки Сіверський Донець

Збільшення водоспоживання і підвищення вимог до якості водних ресурсів є неминучим наслідком розвитку сучасної економіки, зростання життєвого рівня та культури населення. Разом з тим зростають і вимоги до інформації про хімічний склад вод, закономірності та тенденції його зміни, що обумовлено декількома причинами, серед яких основною є довготривале забруднення навколишнього середовища, і в першу чергу річкового стоку. Україна має кілька загальних видатків, використання яких передбачає пошук спільних рішень щодо збереження природних екосистем, здатних виконувати свої екологічні функції й забезпечувати екологічну безпеку відповідно до умов «Угоди між Урядами України та Кабінету Міністрів України про спільне використання та охорону транскордонних водних об'єктів» від 1992 р. річка Сіверський Донець відноситься до річок даної категорії. Тому кількісна й якісна оцінка транскордонного впливу на води Сіверського Дінця набуває величезного значення для прийняття узгоджених міждержавних рішень щодо використання та охорони водних ресурсів.

Основна мета такого дослідження полягає у виявленні основних чинників зміни річкового стоку й гідрохімічних показників води Сіверського Дінця. Охарактеризувати природні і антропогенні фактори, що впливають на якісний стан води в транскордонному створі. Розробити заходи щодо раціонального використання і охорони водних ресурсів р. Сіверський Донець.

Водний режим Сіверського Дінця формується в порівняно несприятливих фізико-географічних умовах, позначаються на освіту поверхневого стоку. На території басейну випадає незначна кількість атмосферних опадів, 500-600 мм /

рік, з них на літній період припадає близько 70 %. Літні опади внаслідок високих температур повітря, сухості ґрунтів, рівнинний рельєф і розораності територій не роблять на стік значного впливу.

Водні ресурси Донецької області відчують на собі вплив промислового потенціалу міст регіону. Це пов'язано з тим, що підприємства в своїй діяльності використовують водні ресурси, при цьому в річку скидають вже використані, недостатньо очищені стічні води, які і є основними забруднювачами річок [1, 2]. Екологічну оцінку якості води річки Сіверський Донець наведено на рисунку 1.1.

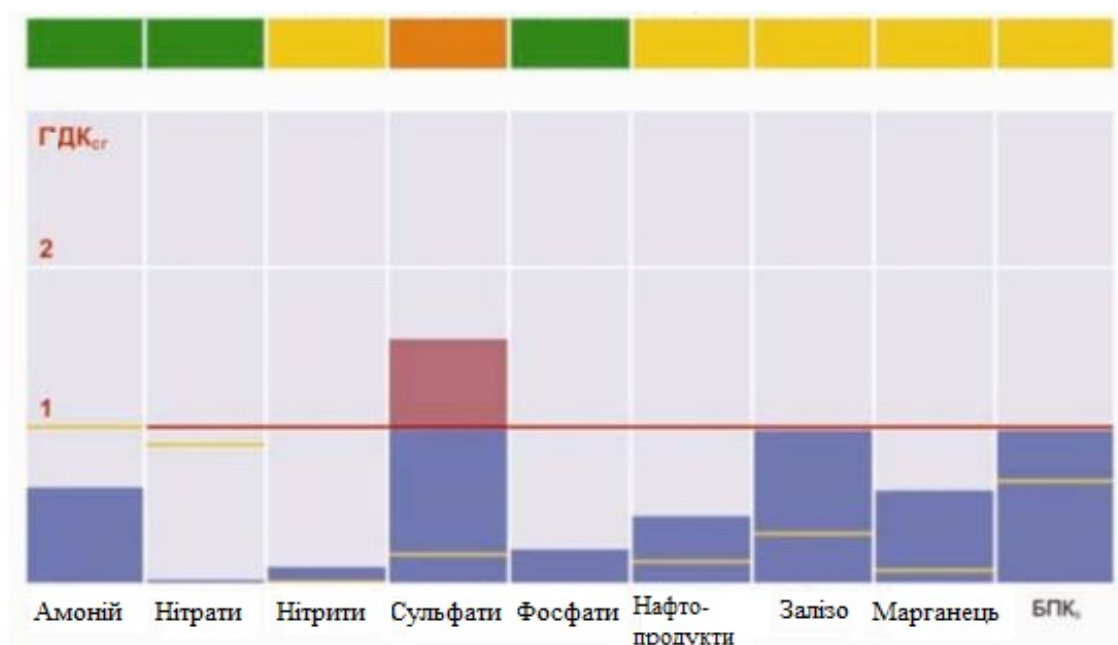


Рисунок 1.1 – Екологічна оцінка якості води річки Сіверський Донець

Високий рівень забруднення басейну річки Сіверський Донець відбувається внаслідок неефективної роботи більшості водоочисних споруд та систем водовідведення підприємств; високим антропогенним навантаженням на басейн річки; недосконалість чинного економічного механізму водокористування і здійснення природоохоронних заходів, виділення недостатніх коштів на водоохоронні цілі; неефективне управління і недотримання природоохоронного законодавства. У результаті аналізу проб води на вміст важких металів визначено, що для Co, Pb, Mn, Fe, Mg, Si, Cd, Cr,

Zn, Ni має місце перевищення ГДС. Термін «важкі метали» пов'язаний з високою атомною масою відповідних хімічних елементів. Ця характеристика зазвичай ототожнюється з поданням про високу токсичність й значні екологічні ризики. Однією з основних ознак, яка дозволяє відносити метали до важких, є їх щільність (значення більше п'яти). Насамперед становлять інтерес ті метали, які найбільш широко і в значних обсягах використовуються у виробничій діяльності і в результаті накопичення в зовнішньому середовищі становлять серйозну небезпеку з точки зору їх біологічної активності та токсичних властивостей. До них відносять свинець, ртуть, кадмій, цинк, вісмут, кобальт, нікель, мідь, олово, сурму, ванадій, марганець, хром, молібден і миш'як [4].

Внаслідок цього, потрапляючи в результаті антропогенної діяльності в природні середовища у міграційно-активному стані, вони починають мігрувати, включаючись в тій чи іншій мірі в біологічний кругообіг, і за певних умов починають надавати токсичну дію на живі організми. Нижче наведено динаміку надходження важких металів в річці Сіверський Донець [5]. Як видно з аналізу даних, які представлено в таблиці 1.1, вміст важких металів в річці збільшується, для деяких з них це збільшення істотне. Для решти величина вмісту коливається в залежності від року. Зменшення вмісту деяких важких металів можна пояснити їх випаданням в донні опади та / або біоаккумуляцією.

Таблиця 1.1. – Динаміка надходження важких металів із стічними водами(т/рік)

Рік	Cr	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Mn
2013	0,0998	0,065	0,011	0,529	3,314	1,306	2,010
2014	0,981	0,984	0,016	1,410	4,84	1,284	4,321
2015	0,150	1,073	0,017	4,161	5,652	1,050	5,938
2016	0,220	0,353	0,017	2,171	3,086	1,120	11,220
2017	0,672	0,687	0,075	1,861	7,438	1,376	10,500

У таблиці 1.2 наведена кратність перевищення ГДК важких металів у стічних водах досліджуваної річки.

Таблиця 1.2 – Гідрохімічні показники стічних вод, кратність перевищення ГДК

Показник	Зміст (мг/дм ³)	ГДК	Перевищення ГДК
Свинець	0,157	Від 0,03 до 1	5,23
Залізо	1003,9	2-20	>100
Кадмій	0,007	0,01	0,7
Ртуть	0,0009	0,05	0,018
Марганець	0,46	0,1	4,6
Нікель	0,35	0,1	3,5
Кальцій	145	180	0,8
Магній	143	40	3,5

Головна небезпека важких металів полягає в тому, що вони мають істотну властивість накопичуватися в людському організмі протягом значного періоду, та як наслідок, викликати з часом серйозні проблеми зі здоров'ям. Іони важких металів «засмічують» органи людського тіла, що призводить до погіршення їх функціонування та серйозних отруєнь [6].

1.2. Інформаційний аналіз методів неруйнівного вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у стічних і природних водах

На теперішній час існують дві глобальні групи аналітичних способів для визначення важких металів: електрохімічні й спектрометричні. Останнім часом із розвитком мікропроцесорної техніки електрохімічні методи отримують новий етап розвитку. Серед спектрометричних методів аналізу визначення важких металів найбільш розповсюдженим є атомно-абсорбційна спектрометрія з певною долею атомізації зразків: атомно-абсорбційна спектрометрія з полум'яною атомізацією та атомно-абсорбційна спектрометрія

з електротермічної атомізацією в графітовій кюветі. Основними способами визначення декількох елементів одночасно є атомна емісійна спектрометрія і мас-спектрометрія з індукційно зв'язаною плазмою. Усі вони мають занадто високу границю виявлення для визначення важких металів у стічних і природних водах [4].

Визначення вмісту важких металів у водній пробі виконується шляхом переміщення проби в розчин шляхом хімічного розчинення у відповідному розчині. Після цього сполука відповідного металу переводиться в осад додаванням розчину відповідного реагенту (лугу або солі), осад відділяється, висушується або прожарюється до постійної ваги, і вміст важких металів визначається зважуванням на аналітичних вагах і перерахунком на початковий вміст у пробі. При кваліфікованому застосуванні метод дає максимально високу точність кінцевого результату вмісту важких металів, але вимагає значних витрат часу й ресурсів.

Для визначення вмісту важких металів електрохімічними методами пробу також необхідно підготувати у водному розчині. Після цього вміст важких металів визначається різноманітними електрохімічними методами: потенціометричним, полярографічним (вольтамперометричним), кулонометричним, кондуктометричним та іншими, а також можливим комбінування деяких з перерахованих методів з процедурою титрування. В основу кількісного встановлення вмісту важких металів зазначеними методами покладено аналіз потенціалів вольт-амперних характеристик, йоноселективних електродів, інтегрального заряду, який необхідний для повного осадження шуканого металу на електроді електрохімічної комірки, електропровідності розчину. За допомогою цих методів можна визначати важкі метали концентрацією до 10^{-10} моль/л.

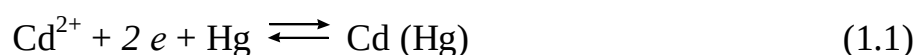
Основні методи електрохімічного аналізу є наступними. Вольтамперометричний метод аналізу заснований на вивченні поляризаційних або вольтамперних кривих (вольтамперограм) – залежностей сили струму від прикладеної до розчину напруги. Суть такого методу полягає в попередньому

накопиченні аналізованого компонента на робочому електроді комірки й наступному розчиненні накопиченого компонента з електрода за умови лінійної зміни потенціалу. У теперішній час відомо декілька десятків різновидів методу вольтамперометрії, які здатні забезпечити високу експресність й чутливість, вибірковість під час визначення неорганічних і органічних сполук у найрізноманітніших об'єктах.

У класичному полярографічному методі в якості робочого електрода використовують ртутний електрод із краплею, у якості електрода порівняння служить насичений каломельний електрод. Якщо в розчині присутні речовини, які здатні електрохімічно окислюватися або відновлюватися, то під час прикладення до електрохімічної комірки лінійно-мінливого потенціалу реєструється вольтамперна характеристика у вигляді хвилі. Завдяки отриманій полярограмі розчину можна визначити концентрацію катіона кожного з присутніх металів. Для цього вимірюють амплітуди усіх хвиль та порівнюють їх з амплітудами хвиль, які отримано під час змішування розчинів тих же катіонів зі заздалегідь відомою концентрацією [7].

За низьких значень потенціалу, величина якого є недостатньою для того, щоб на робочому мікроелектроді відбувалась електрохімічна реакція, через комірку протікає дуже незначний залишковий струм.

Під час збільшення потенціалу активна речовина – деполаризатор спонукає до електрохімічної реакції на робочому електроді, наприклад:



В результаті цього сила струму різко зростає і обумовлює наявність, так званого, фарадеевського струму. Зі зростом потенціалу сила струму збільшується до певного граничного значення, потім залишаючись постійною. Швидкість дифузії деполаризатора в зазначених умовах протікання реакції контролює швидкість електрохімічного процесу в цілому, і величина струму

перестає залежати від накладеної напруги. Такий струм називають граничним дифузійним струмом.

Оцінка змісту компонента в пробі проводиться методом добавок. Методом ІВ визначаються більше 30 компонентів вод. Основні компоненти наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Чутливість визначення компонентів в методі ІВ

Компонент	$C_{\min}$, мкг/л
Bi, I	$n \times 0,001$
Pb, Cd, Cu, Sn	$n \times 0,01$
Sb, As, Se, Te	$n \times 0,1$
Zn, Mn, Fe	$n \times 1$
Na, K, Mg, W, Pt, Pd	$n \times 10$
Li	$n \times 100$

З існуючої множини спектральних методів визначення вмісту важких металів найбільш розповсюдженим є один із варіантів рентгеноспектрального аналізу, а саме – рентгенофлуоресцентний аналіз. Цей спосіб є універсальним і дозволяє визначати вміст важких металів у широкому робочому діапазоні атомних елементів. Найбільш сучасні прилади для реалізації такого методу визначення вмісту важких металів: рентгенофлуоресцентні кристал-дифракційні сканувальні спектрометри дозволяють визначати елементи від натрію ^{11}Na до урану ^{92}U (^{94}Pu).

Відома методика аналізу водних середовищ на сорбційних целюлозних фільтрах вищевказаним способом дає можливість визначати такі елементи, як: Bi, Pb, Mn(II), Zn, Cu (II), Ni, Co, Fe (III), Cr (III) та інші. Однак, під час аналізу природних вод із високими валовими вмістами заліза (до $2,5 \text{ мг/дм}^3$) і марганцю (до $1,0 \text{ мг/дм}^3$) сорбційної ємності фільтрів не достатньо для визначення зазначених елементів. У процесі аналізу втрачається можливість багаторазового використання фільтрів через їх забруднення солями заліза та марганцю. Поріг

чутливості виявлення визначених вище елементів піднімається з 0,005 до 0,05 мг/дм³ [8].

Методика призначена для виконання вимірювань масової концентрації металів (молібдену, марганцю, заліза, міді, цинку) у пробах природних і стічних вод атомно-абсорбційним методом із електротермічною атомізацією з використанням атомно-абсорбційного спектрометра. Під час аналізу проб води з масовою концентрацією металів, що значно перевищує верхню межу діапазону вимірювання, допускається розведення проби деіонізованою водою, але не більше ніж у 100 разів (Zn, Cr), не більше ніж у 1000 разів (Mn, Pb, Fe). Робочі діапазони вимірюваних концентрацій заявлених вище металів наведено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Допустимі діапазони вимірювання в пробах

Елемент	Концентрація
Цинк	Від 0,1 до 8,0 мг/дм ³
Хром	Від 0,001 до 0,1 мг/дм ³
Марганець	Від 0,0003 до 0,050 мг/дм ³
Свинець	Від 0,0005 до 0,070 мг/дм ³
Залізо	Від 0,005 до 0,060 мг/дм ³

На теперішній час відомим та апробованим є метод вимірювання заснований на резонансному поглинанні світла вільними атомами металів, що виникає під час пропускання світла через шар атомної пари в графітової печі атомно-абсорбційного спектрометра.

Вміст металів визначається за значенням інтегрального аналітичного сигналу й розраховується за попередньо встановленою градувальною характеристикою. Принципова схема полум'яного атомно-абсорбційного спектрометра наведена на рисунку 1.2.

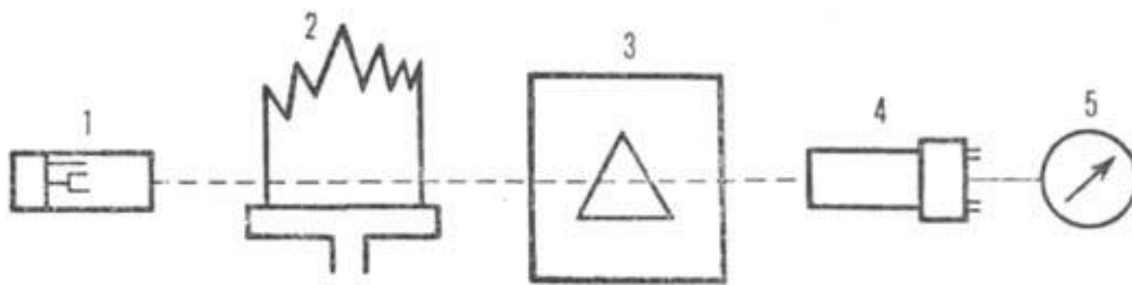


Рисунок 1.2 – Принципова схема полум'яного атомно-абсорбційного спектрометра

Перевагами такого методу аналізу є простота, висока селективність і малий вплив складу проби на результати аналізу. Недоліками такого методу є неможливість одночасного визначення декількох елементів під час використання лінійчатих джерел випромінювання і, як правило, необхідність попереднього переведення проб до розчину [9].

Широкого поширення набув метод фотометричного визначення важких металів. З метою підвищення точності цього методу використовують екстракційно-фотометричну методику, яка полягає в екстракції досліджуваної речовини з її подальшим фотометричним аналізом. Метод застосовується під час аналізу складних сумішей, коли потрібно визначити незначні кількості одних речовин у присутності значних кількостей інших неінформативних сполук.

Метод прямої потенціометрії з використанням іоноселективних електродів (ІСЕ) дозволяє визначати концентрацію, так званих, "вільних" іонів металів у розчинах. На теперішній час серійно випусковими є ІСЕ для визначення вільних іонів міді, марганцю, свинцю, кобальту та інших металів. Перевагами даного методу є найбільша експресність аналізу, простота реалізації, можливість проведення безперервних портативних неруйнівних вимірювань. Основним недоліком використання ІСЕ для аналізу природних вод обмежено порівняно низькою їх чутливістю (від 10^{-5} до 10^{-7} моль/л).

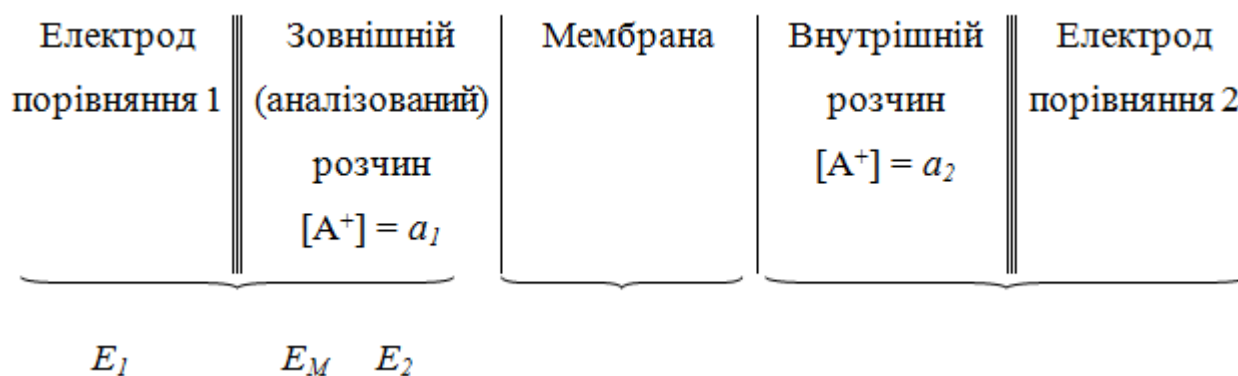
Суть такого методу полягає у вимірювальному моніторингу рівноважного електричного потенціалу вимірювального іоноселективного електрода відносно

потенціалу стандартного електроду порівняння з подальшим обчисленням концентрації за відомими залежностями.

Поставлена задача вирішується створенням іоноселективного електроду для визначення іонів важких металів, що включає корпус і мембрану на основі сульфиду металу. Причому мембрана виконана у вигляді нанесеної на корпус плівки сульфиду визначається товщиною від 50 до 500 нм.

Потенціал мембранного електроду виникає за рахунок обміну зарядженими частинками (іонами) між розчином і мембраною електроду. Напівпроникна мембрана відокремлює внутрішню частину електроду (внутрішній розчин) від аналізованого (зовнішнього) розчину і має здатність пропускати переважно іони одного виду. Активність іонів, до яких мембрана проникна, у внутрішньому розчині постійна [11–13].

Під час потенціометричних вимірах з використанням ІСЕ вимірюють ЕРС наступної комірки:



Після занурення електроду до аналізованого розчину відбувається рух іона A^+ , що проникає через мембрану, в напрямку його більш низької активності. Так як іони несуть заряд, то через розходження активностей іонів A^+ в розчині й мембрані на обох шарах мембрани виникають відповідні граничні потенціали E_1 і E_2 , що перешкоджають подальшому переміщенню іонів через границю розділу середовищ. За допомогою двох електродів порівняння, які занурено до зовнішнього й внутрішнього розчину можна

визначити різницю граничних електричних потенціалів, або так званий мембранний потенціал E_m за наступною формулою:

$$E_m = E_1 - E_2 = 0,059 \lg a_1 / a_2. \quad (1.2)$$

Так як активність іонів A^+ у внутрішньому розчині постійна, потенціал мембранного електрода E_m лінійно залежить від логарифма активності іона A^+ в аналізованому розчині:

$$E_m = const + 0,059 \lg a_1. \quad (1.3)$$

Якщо розчин окрім вимірюваних типів іонів A містить сторонні йони типу K , то потенціал іоноселективного електрода описується рівнянням Нікольського-Ейземана, що є специфікованою формою рівняння Нернста:

$$E = const + \frac{0,059}{n_A} \lg (a_A + k_{A/K}^{пот} a_K^{n_A/n_K} + \dots). \quad (1.4)$$

Під час використання такого методу треба пам'ятати, що електродна функція залежить також від температури (див. рис. 1.3).

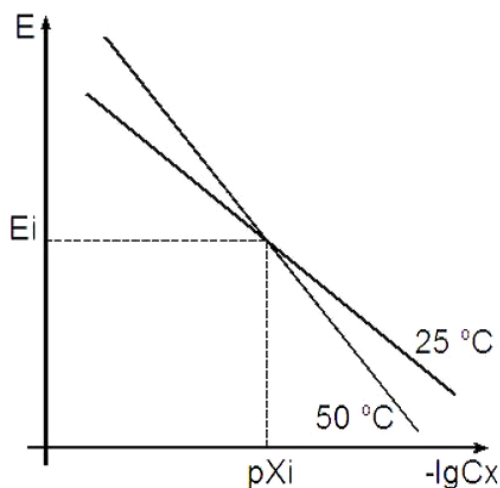


Рисунок 1.3 – Залежність функції від температури

Із збільшенням температури збільшується кутовий коефіцієнт апроксимації електродної характеристики. Відповідна концентрація аналізованих іонів, за якої потенціал електрода не залежить від температури, називається ізопотенційною точкою. Отже, значними перевагами такого методу є:

- можливість визначення концентрації іонів у широкому класі фізичних середовищ;
- простота автоматизації, передача інформації до віддалених об'єктів контролю;
- інтегрованість із різними системами і комплексами;
- можливість безперервного вимірювання в динамічному режимі;
- відносно незначні економічні витрати.

1.3. Обґрунтування методу неруйнівного вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у природних та стічних водах річки

Проаналізований вище метод прямої потенціометрії має нижню межу виявлення на рівні 10^{-6} г/л. Гранично допустима похибка вимірювання становить приблизно $\pm 0,2$ %. Основними перевагами зазначеного методу вимірювання є висока точність, висока порогова чутливість, можливість виконання вимірювань в більш розведених розчинах, ніж це дозволяють візуальні індикаторні методи, можливість одночасного визначення декількох речовин в одному зразку розчину без попереднього ділення речовин, можливість автоматизованого моніторингу в режимі он-лайн. Основний недолік полягає у необхідності обліку дестабілізуючих факторів (температура й конкуруючі іони).

Проаналізований вище полярографічний метод має гранично допустиму відносну похибку ± 2 % для розчинів концентрації порядку від 10^{-3} до 10^{-4} моль/л і близько ± 5 % для більш розведених розчинів. Основними достоїнствами такого методу є швидкість аналізу, можливість визначення

декількох речовин у суміші без попереднього поділу, досить висока точність і застосовність до аналізу невеликих змістів обумовленого елемента. Полярографічний метод універсальний і може застосовуватися до численного кола об'єктів. Недоліками ж є те, що він не чутливий при слабкій концентрації розчину й необхідне концентрування. Даний метод використовується тільки в лабораторних умовах.

Атомно-абсорбційний метод має межу виявлення порядку 10^{-5} або 10^{-6} %. Похибка визначення становить приблизно 5 % і залежно від різних умов змінюється в межах від 3 до 10 %. До достоїнств даного методу відноситься наявність менш жорстких вимог до умов одержання поглинаючої плазми, оскільки аналітичний сигнал залежить від числа незбуджених атомів, що порівняно мало міняється при невеликих коливаннях температури, число ліній у спектрі в умовах атомно-абсорбційного аналізу невелике, тому накладення аналітичних ліній практично не відбувається, хоча неселективне поглинання залишається значним. До недоліків відноситься те, що не визначаються елементи, резонансні лінії яких лежать у далекому ультрафіолеті; необхідність розчинення проби, оскільки ця операція продовжує аналіз; робота з розчинами спрощує еталонування й забезпечує високу відтворюваність результатів; неможливість одночасного визначення декількох елементів; обробка виробляється окремими пробами, необхідна спеціальна установка лабораторного типу; визначається атомна сполука речовини.

Рентгеноспектральний метод має межу виявлення порядку від 10^{-2} до 10^{-3} %. Середня квадратична похибка становить приблизно від 2 до 5 %. Рентгенівські спектри малочутливі до хімічного оточення елемента й практично не залежать від того, у вигляді якої сполуки перебуває аналізований елемент у пробі. Однак даний метод вимагає великої напруги (кВ). При його реалізації використовуються проби в замкнутому об'ємі, необхідні величезні установки. Рентгеноспектральний метод використовується лише в лабораторних умовах.

У результаті проведеного аналізу й логічного узагальнення існуючих методів, що можуть бути використані під час розробка й дослідження

інформаційно-виміральної системи визначення концентрації іонів важких металів у воді, було обрано метод прямої потенціометрії з використанням іоноселективних електродів.

1.4. Критичний аналіз відомих засобів вимірювання концентрації іонів важких металів у воді

Серійний аналізатор рідини моделі «Флюорат-02-3М». Базова методика призначена для проведення вимірювань масової концентрації металів у відібраних пробах природних, питних та стічних вод фотометричним методом на аналізаторі рідини «Флюорат-02-3М», як показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд аналізатора рідини типу «Флюорат-02-3М»

У ньому закладено принцип вимірювання заснований на отриманні в лужному середовищі комплексної сполуки марганцю з формальдоксімом та подальших вимірювання оптичної щільності на аналізаторі рідини «Флюорат-02-3М» у діапазоні довжин хвиль від 440 до 460 нм і автоматичному обчисленні

концентрації металів на підставі градуовальної залежності, яку закладено до внутрішньої пам'яті аналізатора.

Спектрометр атомно-абсорбційний «МРА-915». Такий спектрометр призначено для кількісного визначення вмісту різних металів у рідких пробах, а також атмосферному повітрі. Спектрометр застосовується під час вирішення екологічних задач, контролю технологічних процесів, у виробничій санітарії та наукових дослідженнях. Умови експлуатації спектрометра є наступними:

- температура навколишнього повітря, °С від 10 до 35;
- атмосферний тиск, кПа від 84,0 до 106,7;
- відносна вологість повітря, не менше 75 % при 30°C;
- у лабораторному приміщенні повинні бути відсутні пари агресивних і шкідливих речовин, а місце розташування спектрометра має бути захищене від механічних вібрацій.

Принцип дії спектрометра типу «МРА-915» заснований на використанні методу зєємановських поляризаційної спектроскопії з високочастотної модуляцією (ЗПСВМ), який є одним із можливих варіантів селективного атомно-абсорбційного аналізу.

Спектрометр «МРА-915» (див. рис. 1.5) складається з наступних функціональних вузлів і блоків: 1 – лампи з порожнистим катодом чи ВЧ-лампи, розташовані в барабані револьверної системи, яка використовується для автоматичної зміни джерел спектрального випромінювання; об'єктиву – 2; дзеркала – 3; поляризатора – 4; оптоакустичного модулятора – 5; похилої кварцової платівки – 6; фазової пластинки – 7; об'єктивів – 8 і 10; магніту – 9; атомізатора – 11; поляризаційного компенсатора – 12; входної щілини монохроматора – 13; сферичної дифракційної решітки – 14; вихідного щілинного монохроматора – 15; фотоелектронного помножувача – 16; підсилювачів і аналого-цифрових перетворювачів – 17. Функції керування спектрометром покладено на персональний комп'ютер – 18.

У монохроматорі спектрометра використовується сферична дифракційна решітка 1800 штрихів/мм з фокусною відстанню 65 мм.

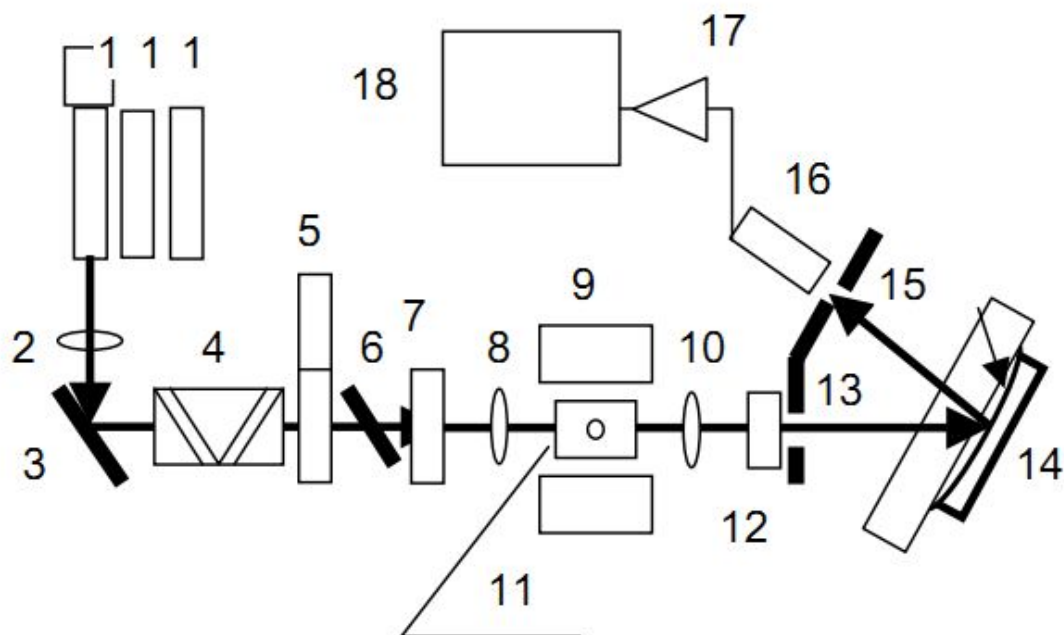


Рисунок 1.5 – Структурна схема спектрометра типу «МРА-915»

Фотоколориметр «ЕКОТЕСТ-2020-РС». Градування визначених компонентів внесено до пам'яті портативного приладу, що відіграє важливу роль під час скорочення часу виконання аналізів. Концентрація визначених компонентів розраховується автоматично і виводиться на дисплей приладу в мг/л. Дана модифікація фотоколориметра, яку наведено на рисунку 1.6, може використовуватися як у лабораторних, так і в польових умовах.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд фотоколориметру «ЕКОТЕСТ-2020-РС»

Універсальний полярограф типу «ЕКОТЕСТ-ВА». Така модель універсального комплексу призначена для вимірювання мікрокількостей (до 10^{-10} моль/л) важких металів у різних об'єктах методом інверсійної вольтамперометрії, як показано на рисунку 1.7. Основними об'єктами аналізу є: питна, стічна, природна і морська вода.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд універсального полярографа
«ЕКОТЕСТ-ВА»

Вимірювач іонів I-160M. Ця модель засобу вимірювання призначена для потенціометричного вимірювального контролю активності йонів водню (pH), активності й концентрацій одновалентних і двовалентних аніонів і катіонів (pX) різних металів, окислювально-відновних потенціалів (Eh) та температури у водних розчинах з представленням результатів в цифровій формі та у вигляді аналогового сигналу напруги постійного струму. Вимірювання активності й концентрації здійснюється за допомогою іономіра I-160M, як показано на рисунку 1.8, і відповідного набору електродів.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд іономіру I-160M

Більш детально розглянемо модифікацію електроду, який використовують для роботи в лабораторних або промислових умовах у парі зі зразковим електродом порівняння в комплекті з іономіром.

Іоноселективний електрод «ЕЛІС». Цей іоноселективний електрод «ЕЛІС» (див. рис. 1.9) призначено для вимірювання концентрації іонів важких металів у водних розчинах, що не утворюють нерозчинні плівки або осади на поверхні мембрани.

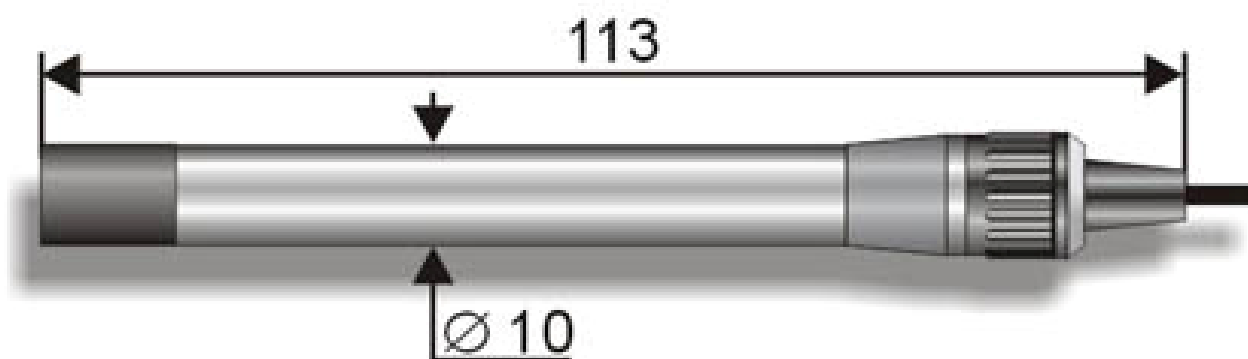


Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд ІСЕ «ЕЛІС»

Електрод серійно випускається згідно до вимог ТУ 4215-002-41541647-2006 і поставляється в комплекті з атестованою методикою калібрування й виконання вимірювань масової концентрації іонів важких металів у воді й водних розчинах. Вплив деяких конкуруючих іонів усувається шляхом підтримки рН розчину вище координати ізопотенційної точки – 4 од.

Габаритні розміри електрода є наступними: діаметр – 18 мм, довжина – 160 мм; довжина з'єднувального кабелю – 500 ± 100 мм.

Основна увага приділяється експлуатаційній умові щодо заборони використання електродів для вимірювання в органічних розчинниках, що містять поверхнево-активні речовини.

1.5. Напрямки досліджень

На підставі проведених досліджень у даному розділі, що присвячено аналізу і логічному узагальненню відомих методів і серійних промислових засобів вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів в умовах річки Сіверський Донець було обґрунтовано основні напрямки подальших перспективних досліджень магістерської роботи.

Мета роботи полягає в розробці та дослідженні електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Об'єкт дослідження – електронна система вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та засоби підвищення ефективності електронної системи визначення концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

Методи дослідження: методи комп'ютерного та імітаційного моделювання, теорія ймовірності, теорія точності й концепція невизначеності, аналіз і синтез електронних систем, планування фізичного експерименту.

Для досягнення поставленої мети поставлені та вирішені наступні задачі роботи:

1. Аналіз і логічне узагальнення методів і засобів вимірювання концентрації іонів металів.
2. Розробка математичної моделі об'єкта контролю та електронної системи з обліком зміни концентрації іонів металів за двома каналами та рівнями температури.
3. Розробка математичної моделі структурних блоків електронної вимірювальної системи визначення концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.
4. Обґрунтування способів підвищення точності електронної системи вимірювання концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.
5. Обґрунтування компонентної бази і алгоритмів функціонування електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

1.6. Висновки за розділом

Проведено детальний аналіз об'єкту контролю – води річки Сіверський Донець.

Встановлено й розглянуто основні джерела забруднення природних вод, деталізовано вплив важких металів на поточний і прогнозований стан водних ресурсів, а також здоров'я і життя людини.

Під час аналізу було встановлено основні негативні впливові фактори, а саме: концентрації іонів різних металів, що заважають, та температура, облік яких дозволяє істотно зменшити похибку.

У результаті аналізу методів, що використовуються для визначення важких металів у воді, було обрано метод прямої потенціометрії з використанням іоноселективних електродів.

Цей метод є простим та має можливість визначення концентрації іонів в забарвлених середовищах у автоматичному режимі. На відміну від більшості інших методів, даний метод дозволяє проводити вимірювання безпосередньо на місці відбору проб.

В якості аналогу для побудови інформаційно-вимірювальної системи визначення концентрації іонів важких металів у воді було обрано іономір І-160М. Принцип роботи даного приладу засновано на методі прямої потенціометрії з використанням іоноселективних електродів.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ВОДІ

2.1. Кількісний аналіз дестабілізуючих факторів

Вимірювання концентрації іонів важких металів методом прямої потенціометрії полягає у встановленні значення електродного потенціалу та подальшому обчисленні на підставі рівняння Нернста активності потенціал-визначального йону в водному розчині. Під час визначення концентрації необхідне введення поправок на дестабілізуючий вплив конкуруючих іонів, що розчинені у водній пробі. Присутність таких іонів значно впливає на метрологічні характеристики використовуваного методу через зсув потенціалу іоноселективного електрода.

Окрім впливу конкуруючих іонів потенціометричні методи також чутливі до температури, адже у процесі вимірювання беруть участь іоноселективні електроди, технічними характеристиками, яких передбачено певні необхідні діапазони роботи за кислотністю, температурою та концентрацією вимірюваної речовини та електричного опору розчину.

Для досягнення потрібної точності вимірювання концентрації контрольованої речовини необхідно проводити облік дестабілізуючих факторів та приймати дії щодо їх усунення або зменшення.

Під час аналізу використовуваного методу вимірювання були визначені основні дестабілізуючі фактори, а саме: концентрація іонів різних металів та температура.

Отже, розглянемо вплив цих факторів на проведення вимірювання.

Вплив температури. Потенціометричний аналіз проводився при однаковій номінальній температурі, оскільки зміна температури розчину в багатьох випадках викликає відповідне збільшення похибки [11, 19]. Якщо навіть невелика зміна температури (на 2–3 °C) призводить до значного збільшення

похибки, то вимірювання останньої проводять після попереднього термостатування матеріалів і обладнання.

Отже, проаналізуємо точність вимірювань за певною незмінної температури. Для прикладу, будемо проводити вимірювання при номінальній температурі 25 °С. Параметри похибок встановлені за цієї температури та відсутності різних конкуруючих іонів, а також відсутності вібрацій і шумів обладнання:

- абсолютна систематична похибка $\text{мг/дм}^3 8 \times 10^{-6}$
- абсолютна випадкова похибка $\text{мг/дм}^3 6 \times 10^{-4}$
- абсолютна сумарна похибка $\text{мг/дм}^3 0,0011$
- максимальне значення приведеної похибки % 0,14

З наведених даних видно, що за номінального значення температури значення похибки є незначним і задовольняє вимогам щодо точності до даних типів вимірювань. Виконаємо вимірювання характеристики перетворення за інших значень температури. Характеристику перетворення ІСЕ за концентрацією заліза наведено на рисунку 2.1.

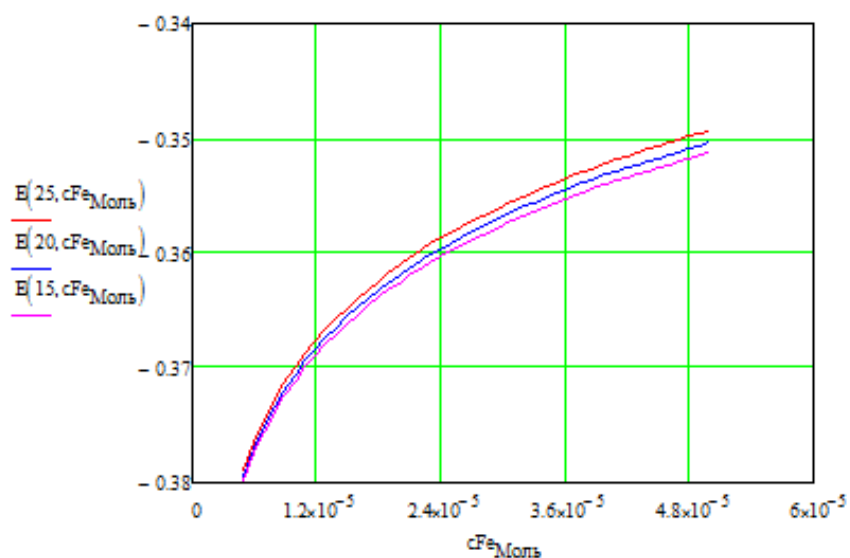


Рисунок 2.1 – Характеристика перетворення ІСЕ за концентрацією заліза під час зміни температури

Як видно з аналізу результатів, які наведено на рисунку 2.1, при незначній концентрації іонів заліза впливом температури можна знехтувати. Проте зі збільшенням концентрації іонів у розчині значно збільшується й дестабілізуючий вплив температури. Розглянемо найкритичніші умови вимірювання, а саме: концентрація металу є максимально можливою. При зміні значень температури отримуємо значення похибок, як показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри похибок при різних значеннях температури води

Значення температури, °C	15	20	24
абсолютна систематична похибка , мг/дм ³	0,2	0,09	0,017
абсолютна випадкова похибка , мг/дм ³	0,06	0,027	0,005
абсолютна сумарна похибка , мг/дм ³	0,3	0,14	0,026
максимальне значення приведеної похибки, %	40	18	3

Виконаємо налаштування системи на температуру 20 °C. У результаті цього отримано масив значень вихідної напруги, що відповідає встановленим значенням масиву концентрацій іонів заліза. Цей масив було апроксимовано методом найменших квадратів, у результаті чого була отримана характеристика перетворення вимірювача, як показано на рисунку 2.2.

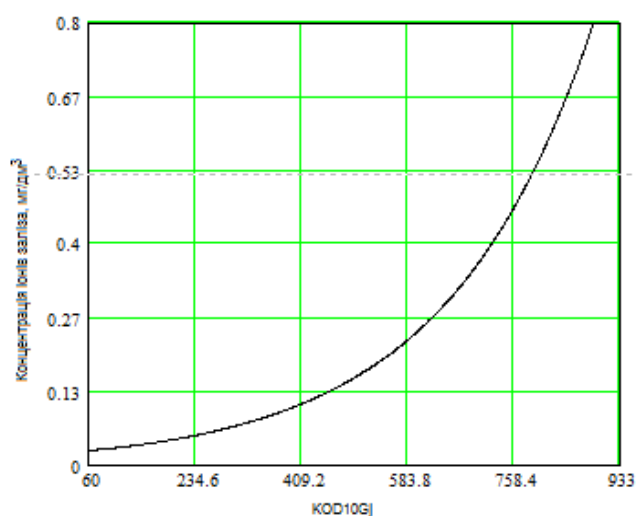


Рисунок 2.2 – Характеристика перетворення вимірювального каналу

Отримані значення похибок для кожного фіксованого значення температури з робочого діапазону експлуатації розроблюваного вимірювача обчислювалися наступним чином:

$$\varepsilon_{19_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT19}_k} \quad \varepsilon_{21_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT21}_k}$$

$$\varepsilon_{18_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT18}_k} \quad \varepsilon_{22_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT22}_k}$$

$$\varepsilon_{17_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT17}_k} \quad \varepsilon_{23_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT23}_k}$$

$$\varepsilon_{16_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT16}_k} \quad \varepsilon_{24_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT24}_k}$$

$$\varepsilon_{15_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT15}_k} \quad \varepsilon_{25_k} = C_{\text{FeизмT20}_k} - C_{\text{FeизмT25}_k}$$

На підставі аналізу встановлено, що під час збільшення концентрації йонів заліза і за умови впливу інших параметрів, навіть при незначному відхиленні температури від номінального значення, спостерігається істотне збільшення значення похибки вимірювання концентрації металу. Це суперечить вимогам системи за точністю вимірювання. На підставі цього було прийнято рішення про використання алгоритмічної корекції температурної похибки.

Також було прийнято рішення не вводити до алгоритму значення всього діапазону температури, так як при їх введенні реалізація алгоритму ставала практично неможливою.

Замість цього, виникла необхідність у забезпеченні стабілізації температури в структурних компонентах підготовки проб. Варто зазначити, що у прототипі досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи такий вузол також передбачено.

Отже, в результаті цього, маємо постійну температуру 20 °С. Максимальна похибка термостабілізації дорівнює $\pm 1^\circ\text{C}$. Перевірка роботи алгоритму температурної корекції для можливих значень здійснюється за наступними формулами (2.1 – 2.3):

$$CF_{\text{Feвим}t_k} = CF_{\text{Feвим}20_k} + (A_0t_0 + t_1 * A_0t_1) + CF_{\text{Feвим}20_k} * (A_1t_0 + t_1 * A_1t_1) \quad (2.1)$$

$$CF_{\text{Feвим}21} = CF_{\text{Feвим}20} + (A_0t_0 + t_2 * A_0t_1) + CF_{\text{Feвим}20} * (A_1t_0 + t_2 * A_1t_1) \quad (2.2)$$

$$CF_{\text{Feвим}19} = CF_{\text{Feвим}20} + (A_0t_0 + t_2 * A_0t_1) + CF_{\text{Feвим}20} * (A_1t_0 + t_2 * A_1t_1) \quad (2.3)$$

де A_0 і A_1 – коефіцієнти, що апроксимовано поліномом першого ступеня від температури.

У результаті розрахунків отримуємо, що температурна стабілізація проби з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$ обумовлює зростання похибки вимірювання не більше ніж на $\pm 0,8\%$, що задовольняє висунутим вимогам до інформаційно-вимірювальної системи визначення концентрації іонів важких металів у воді.

Вплив конкуруючих іонів. Під час вимірювання концентрації іонів заліза також дестабілізуючий вплив чинять катіони, які утворюють ще менш розчинні сполуки.

Апріорний аналіз довів, що найбільший вплив під час визначення концентрації іонів заліза створюють іони міді.

Саме том, дестабілізуючий вплив цих факторів розглянуто на прикладі іонів міді через відношення до іонів заліза.

Якщо обчислене значення відносної похибки виявиться занадто великим, то слід обґрунтовувати процедури компенсації тієї чи іншої сполуки, що чинить дестабілізуючий вплив. Варто також зазначити, що крім того, визначенню іонів металів із використання ІСЕ заважають деякі органічні речовини поверхневих вод.

На рисунку 2.3 наведено градувальну характеристику перетворення під час впливу конкуруючих іонів міді.

Встановлені параметри похибок за різних значеннях концентрації іонів міді наведено у таблиці 2.2.

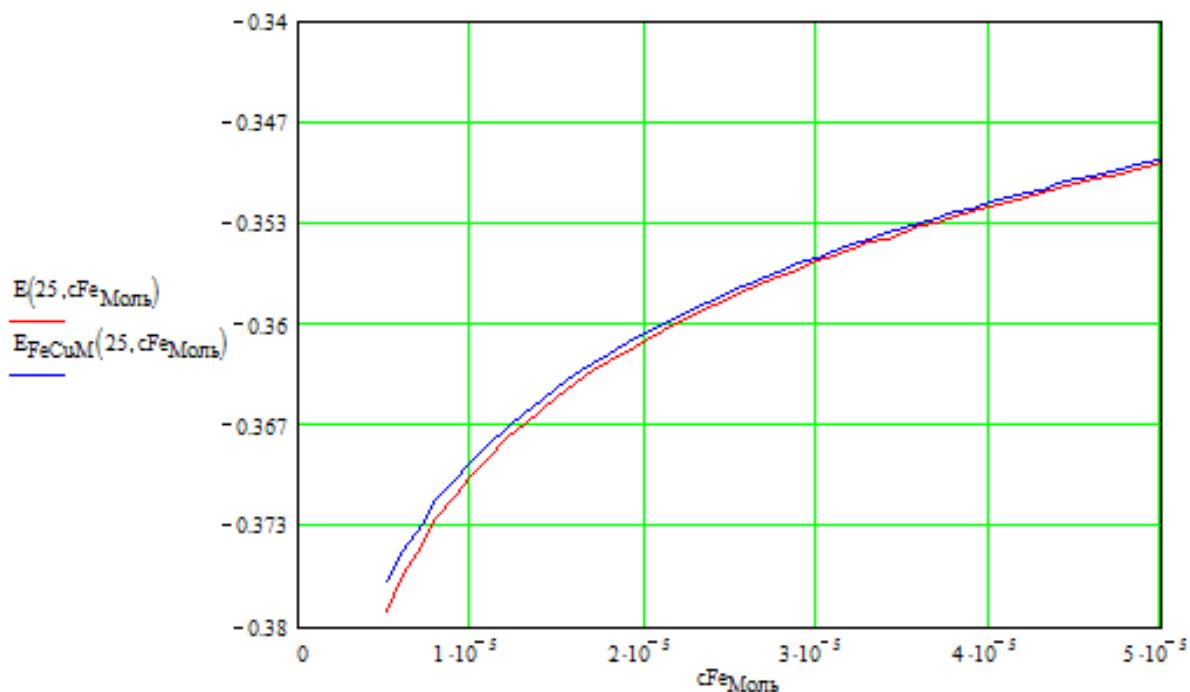


Рисунок 2.3 – Характеристика перетворення ІСЕ за концентрацією іонів заліза при впливі конкуруючих іонів міді

Таблиця 2.2 – Параметри похибок при різних значеннях концентрації іонів міді

Концентрація іонів міді, мг/дм^3	0,5	0,25	0,05
Абсолютна систематична похибка, мг/дм^3	0,04	0,022	0,004
Абсолютна випадкова похибка, мг/дм^3	5×10^{-4}	6×10^{-4}	5×10^{-4}
Абсолютна максимальна похибка, мг/дм^3	0,04	0,023	0,005
Абсолютна максимальна приведена похибка, %	6	2,9	0,7

Градувальну характеристику при зазначеному вище впливі заявленого дестабілізуючого фактору наведено на рисунку 2.4.

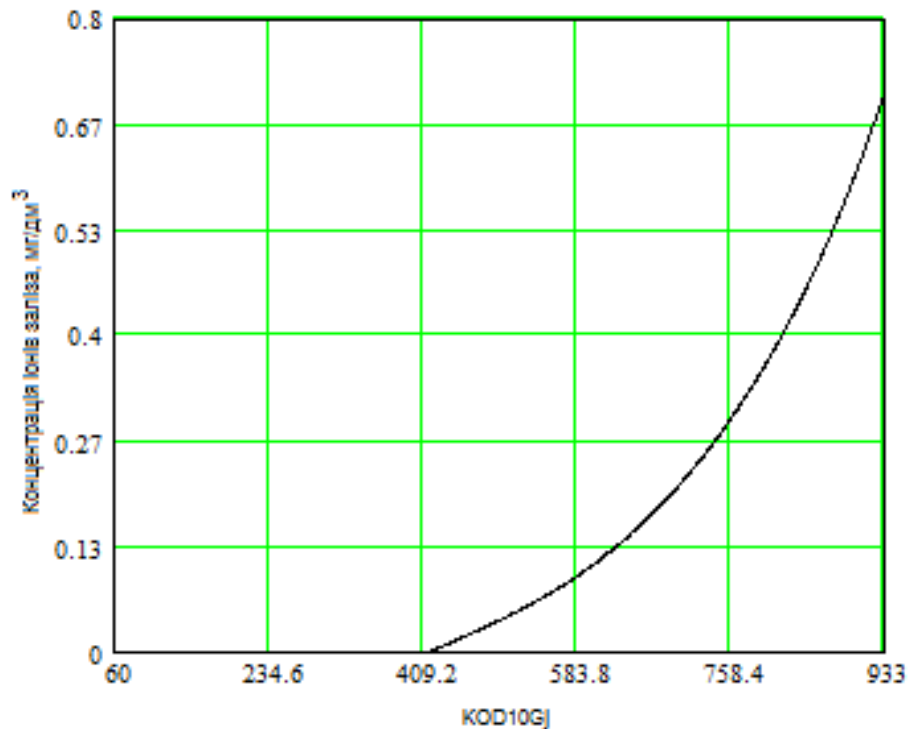


Рисунок 2.4 – Градувальна характеристика вимірювального каналу при впливі конкуруючих іонів міді

На підставі кількісного аналізу отриманих результатів комп'ютерного моделювання встановлено, що зі збільшенням концентрації іонів міді зростає і абсолютне значення похибки вимірювання, що свідчить про мультиплікативний характер цієї складової загальної похибки. Застосовуємо розроблений алгоритм зменшення похибки від впливу іонів міді. Оцінюємо похибки апроксимації експериментальної залежності статичним поліномом. Отримуємо графік залежності похибки від величини концентрації, як показано на рисунку 2.5.

Залежність похибки від впливу іонів міді може бути апроксимована лінійною залежністю. Отже, на підставі отриманої графічної залежності, робимо висновок, що похибки від впливу міді практично не залежать від вимірюваного значення та носять адитивний характер. Отже, їх можна апроксимувати поліномами нульового порядку (коефіцієнт $a = ACU_{0...10}$) ($AACu$ – коефіцієнти полінома, знайдені за допомогою методу найменших квадратів). Перевірка роботи алгоритму для можливих значень здійснюється за наступною формулою:

$$CFe = CFe_{изм20_{Cu}} + \varepsilon_{Cu} = CFe_{изм20_{Cu}} + a1 * CCu_{изм20_{Fe}} \quad (2.4)$$

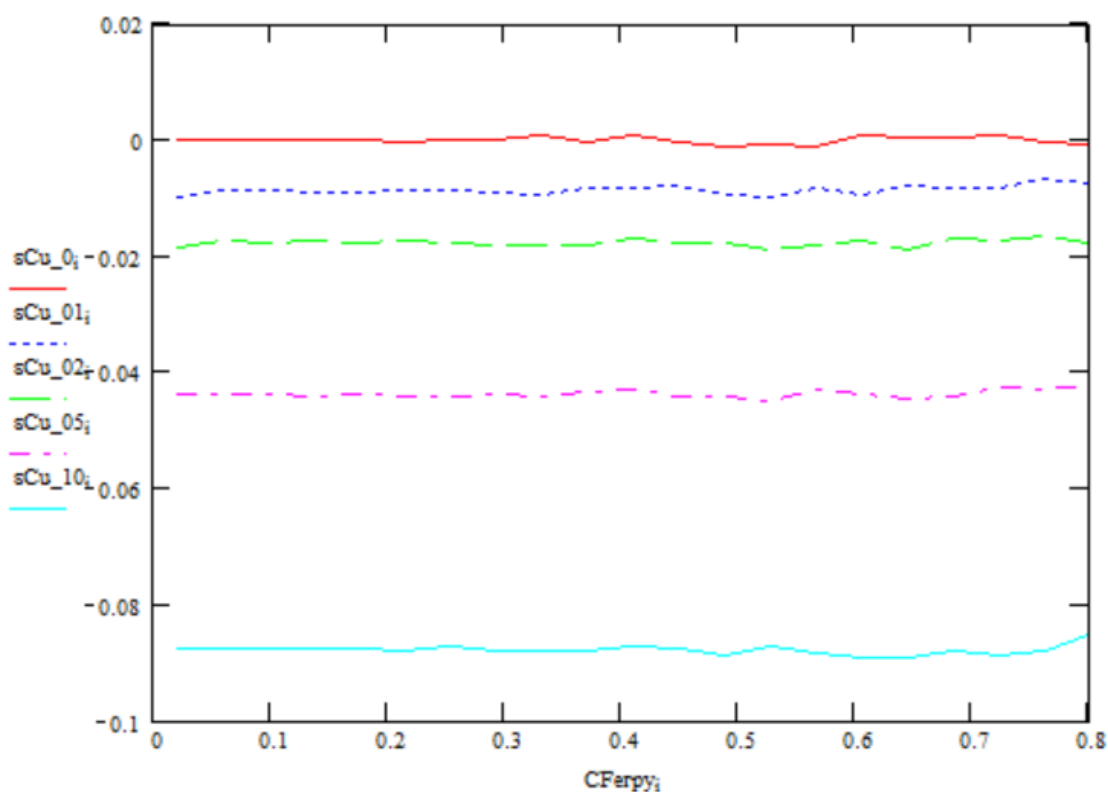


Рисунок 2.5 – Графік залежності похибки від величини концентрації іонів міді

Кількісний аналіз отриманих результатів показав, що при максимальному значенні величини концентрації іонів заліза та за умови відсутності іонів міді отримуємо значення похибки, що не перевищує $\pm 0,1\%$. Якщо спостерігається максимальна концентрація іонів заліза під час впливу максимально можливої концентрації іонів міді, значення похибки не перевищує $\pm 0,3\%$ (гранично допустиме значення складової похибки від дестабілізуючого впливу конкуруючих іонів міді на вимірювальний канал концентрації іонів заліза).

2.2. Математична модель формування інформаційного сигналу

Принцип дії електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу, що розробляється в даній магістерській роботі, покладено прямий

потенціометричний метод вимірювань концентрації заліза в природних і стічних водах річки. Функціонування вимірювального перетворювача засновано на перетворенні е.р.с. електродної пари у залежності до значення концентрації іонів заліза. Виміряні значення перетворюються в пропорційну напругу на виході перетворювача із подальшою процедурою АЦП.

Під час вимірювання концентрації іонів важких металів використовується електродна пара, що складається з вимірювального (робочого) електрода та стандартного електрода порівняння.

Потенціал вимірювального електрода, залежить від вмісту в розчині іонів певного виду, до якого він є селективним. Потенціал електрода порівняння від складу розчину не залежить і залишається стабільним протягом експлуатаційного періоду, та виступає в якості опорного під час вимірювання е.р.с., що створюється електродної системою.

Отже, помістимо напівпроникну мембрану між двома розчинами з різними концентраціями іонів типу А. Один з цих розчинів – аналізований розчин (або зовнішній) має концентрацію C_1 , інший – стандартний (або внутрішній) – C_2 . На зовнішній і внутрішній поверхні мембрани відбуватиметься обмін іонами, тобто іони з розчину будуть проникати у фазу мембрани. Через те, що показники активності йонів у розчині й фазовому переході мембрани є різними, на обох поверхнях мембрани виникнуть граничні потенціали E_1 і E_2 . Мембранний електрод наведено на рисунку 2.6.

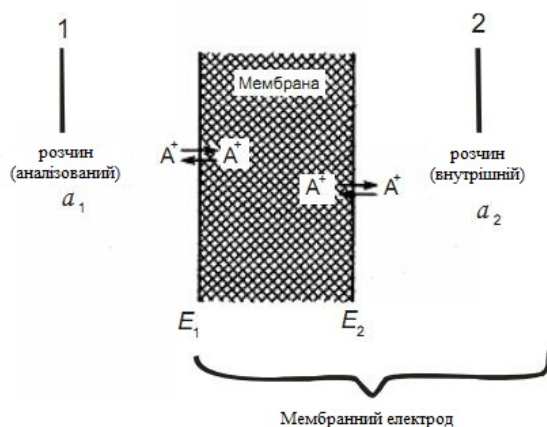


Рисунок 2.6 – Загальна структура мембранного електрода

За допомогою пари електродів порівняння, які поміщено до зовнішнього й до внутрішнього розчину можна виміряти різницю граничних потенціалів, або так званий мембранний потенціал E_m за наступним рівнянням:

$$E_m = E_1 - E_2 = 0,059 \lg a_1 / a_2. \quad (2.5)$$

Так як активність йонів A^+ у внутрішньому розчині залишається постійною, то потенціал мембранного електрода E_m залежить лінійно від десяткового логарифма активності іона A^+ в аналізованому розчині:

$$E_m = const + 0,059 \lg a_1. \quad (2.6)$$

У випадку коли розчин крім інформативних йонів типу A містить конкуруючі іони K , то потенціал іоноселективного електрода описується рівнянням Нікольського-Ейземана:

$$E = const + \frac{0,059}{n_A} \lg (a_A + k_{A/K}^{пот} a_K^{n_A/n_K} + \dots). \quad (3.3)$$

Під час моделювання процесу вимірювального моніторингу концентрації йонів використано різні значеннями концентрацій. Концентрація йонів може змінюватися від 0,2 до 0,8 для каналу визначення заліза, як показано на рисунку 2.7 та від 0,2 до 1 для каналу міді, як показано на рисунку 2.8.

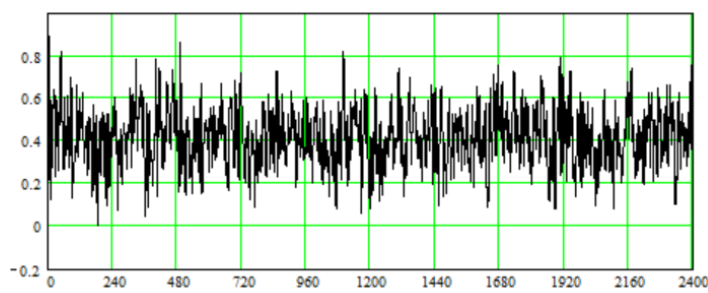


Рисунок 2.7 – Графік зміни концентрації йонів заліза

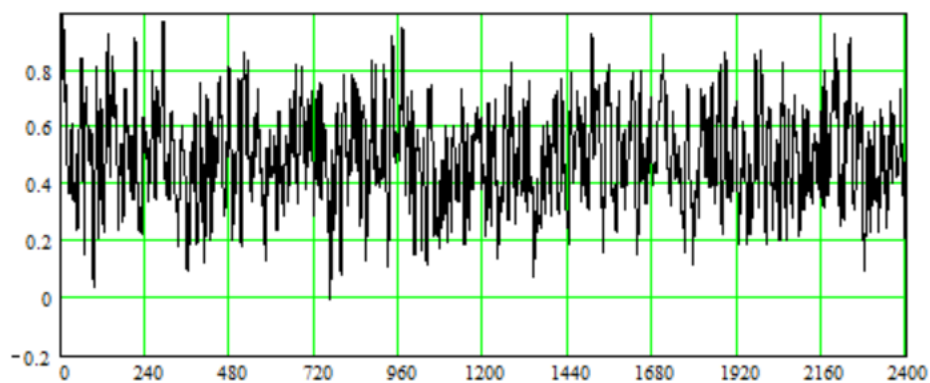


Рисунок 2.8 – Графік зміни концентрації іонів міді

2.3. Математична модель аналогового вимірювального блоку електронної системи

Вихідний сигнал іоноселективного електроду надходить до входу диференційного підсилювача, де відбувається лінійне підсилення напруги, як показано на рисунку 2.9.

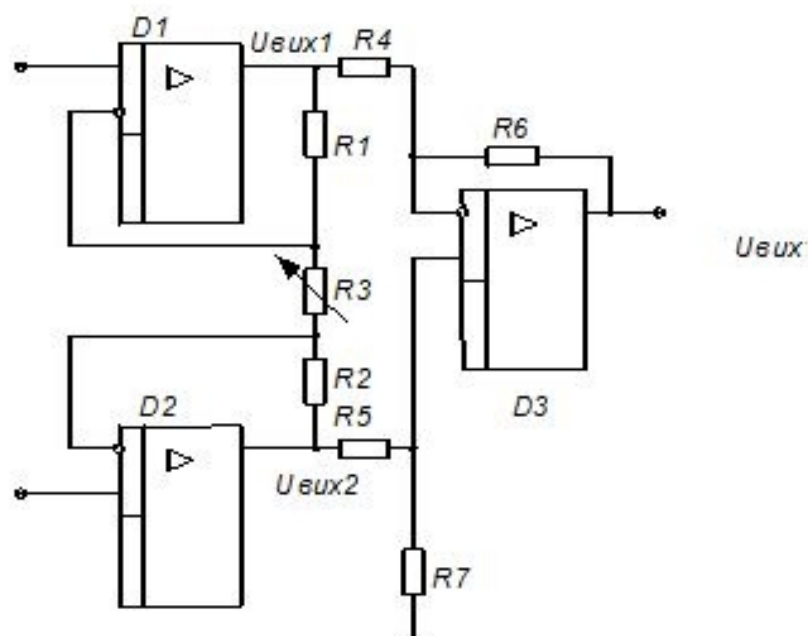


Рисунок 2.9 – Схема принципова вимірювального підсилювача на базі трьох мікросхем ОППС

В якості мікросхеми операційного підсилювача було обрано мікросхему SN72770, яка задовольняє вимогам за точністю та швидкодією перетворення. Основні технічні характеристики такої моделі ОППС наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні технічні характеристики мікросхеми SN72770

Параметр	Позначення	Од.	sn72770
Вхідний струм	I_{BX}	мкА	0.03
Різниця вхідних струмів	ΔI_{BX}	мкА	0.03
Вхідний опір	R_{BX}	МОм	1
Напруга зсуву нуля	U_{3C}	мВ	5
Дрейф напруги зсуву нуля	$\Delta U_{3C}/\Delta T$	мкВ/ $^{\circ}C$	40
Коефіцієнт підсилення напруги	K_U	–	$3 \cdot 10^4$
Коефіцієнт ослаблення синфазних вхідних напруг	$K_{OC,CF}$	дБ	80
Частота одиничного підсилення	F_1	МГц	1
Швидкість наростання вихідної напруги	$\nu U_{ВИХ}$	В/мкс	2.5
Максимальний вихідний струм	$I_{ВИХ \max}$	мА	2.8
Максимальна вихідна напруга	$U_{ВИХ \max}$	В	± 12
Максимальна вхідна диференціальна напруга	$U_{ДФВХ \max}$	В	± 10
Максимальна синфазна вхідна напруга	$U_{CF ВХ \max}$	В	± 11
Напруга живлення	$U_{Ж}$	В	± 15
Струм живлення	$I_{ЖИВ}$	мА	2,8

З метою подальшого проведення моделювання процесу вимірювального контролю необхідно ідентифікувати процес, а саме змодельовати інформаційні сигнали в двох вимірювальних каналах з обліком параметрів моделі процесу та параметри об'єкта контролю.

Далі формується сигнал налаштування електронної системи. Сигналу, що налаштовується, відповідає графік послідовної установки і стабільної підтримки трьох значень контрольованого параметра: середнього значення діапазону вимірювання та гранично допустимих (максимум і мінімум). Для каналу визначення концентрації іонів заліза отримуємо наступні дані:

$C_{FeM} = 0,8 \text{ мг/дм}^3$ – максимальна концентрація іонів заліза;

$M_{CFe} = 0,41 \text{ мг/дм}^3$ – середня концентрація іонів заліза;

$C_{Fem} = 0,02 \text{ мг/дм}^3$ – мінімальна концентрація іонів заліза.

Для каналу вимірювального моніторингу міді отримуємо:

$C_{CuM} = 1 \text{ мг/дм}^3$ – максимальна концентрація іонів міді;

$M_{CCu} = 0,51 \text{ мг/дм}^3$ – середня концентрація іонів міді;

$C_{Cum} = 0,02 \text{ мг/дм}^3$ – мінімальна концентрація іонів міді.

Тривалість налаштовуваного сигналу прийнята рівною довжині інформаційного сигналу. Подібним чином формуємо й сигнали градуювання на трьох рівнях, як показано на рисунках 2.10 і 2.11.

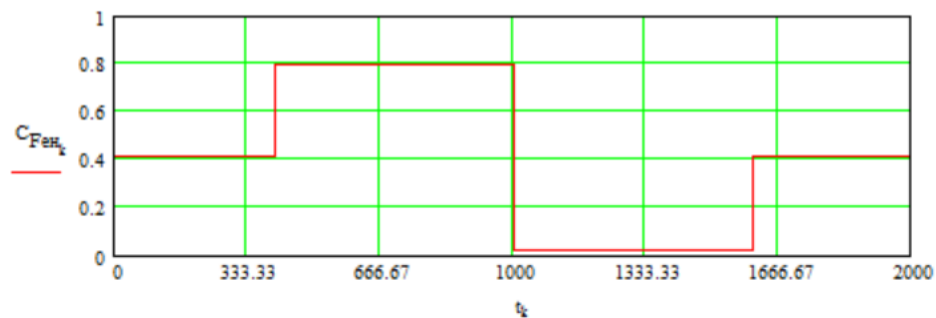


Рисунок 2.10 – Графік сигналів градуювання на трьох рівнях для каналу Fe

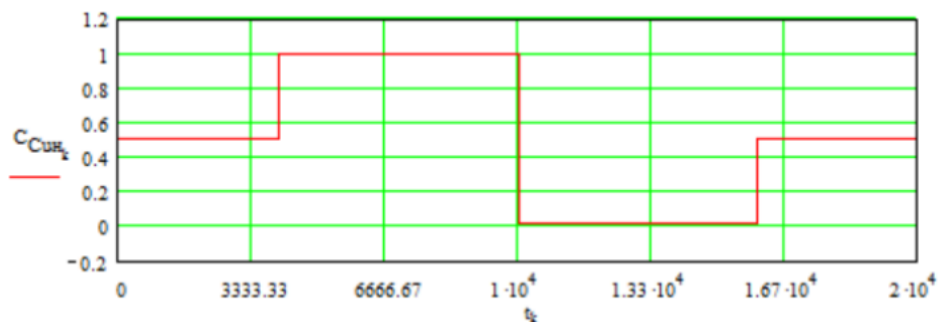


Рисунок 2.11 – Графік сигналів градуювання на трьох рівнях для каналу Cu

На підставі сигналів налаштування було отримано графіки сигналів на двох рівнях, за допомогою яких виконується налаштування. Відповідні сигнали налаштування сигналів напруги на виході первинного вимірювального перетворювача зображено на рисунках 2.12 і 2.13.

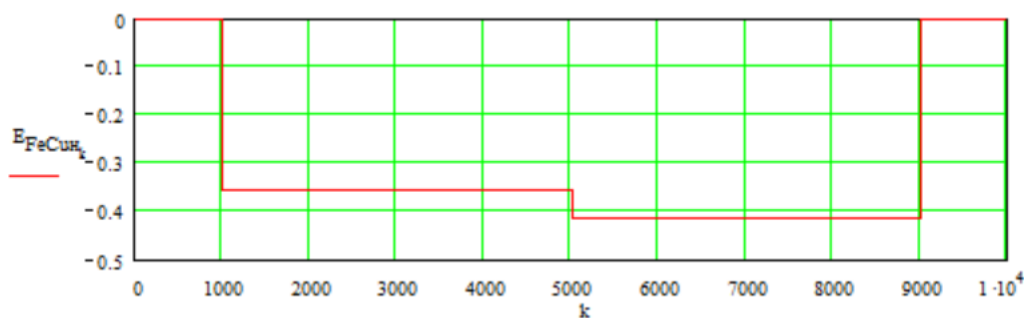


Рисунок 2.12 – Графік напруги на виході чуйника для каналу заліза

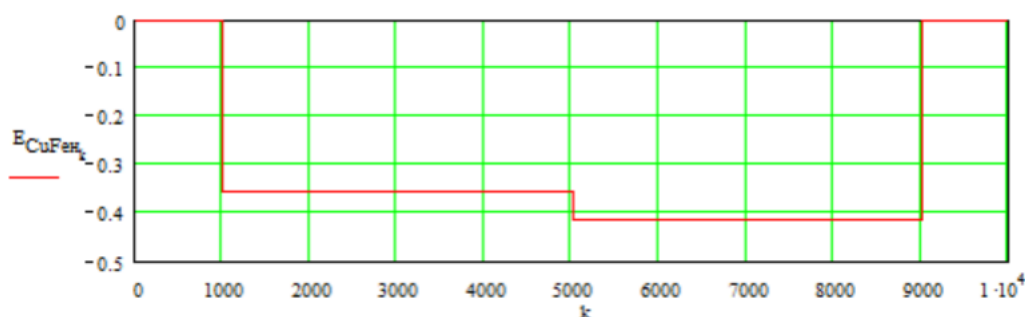


Рисунок 2.13 – Графік напруги на виході чуйника для каналу міді

Наступним кроком моделювання системи є налаштування первинного вимірювального перетворювача. Сигнал з виходу ПВП надходить на вхід нормуючого перетворювача НП. Нормуючий перетворювач реалізований за схемою диференціального вимірювального підсилювача.

Методика налаштування нормуючого перетворювача полягає в наступному:

1. Початкові налаштування. Вимкнути нормуючий перетворювач від джерела сигналів і його вхідні затискачі необхідно замкнути накоротко. Усі регулювання (першого і другого вузлів зсуву і коефіцієнта передачі) встановити в початковий стан. Моделювання зазначених дій виконується операторами:

$U_{вхНП_k} := E_{mk}$ – джерело сигналу відключене від виходу НП;

$U_{вхНП_k} := 0$ – вхід НП закорочено;

$n_{1смНПгрубо} = 0;$ $n_{1смНПточно} = 0;$

$n_{2смНПгрубо} = 0;$ $n_{2смНПточно} = 0;$

$n_{КНПгрубо} = 0;$ $n_{КНПточно} = 0.$

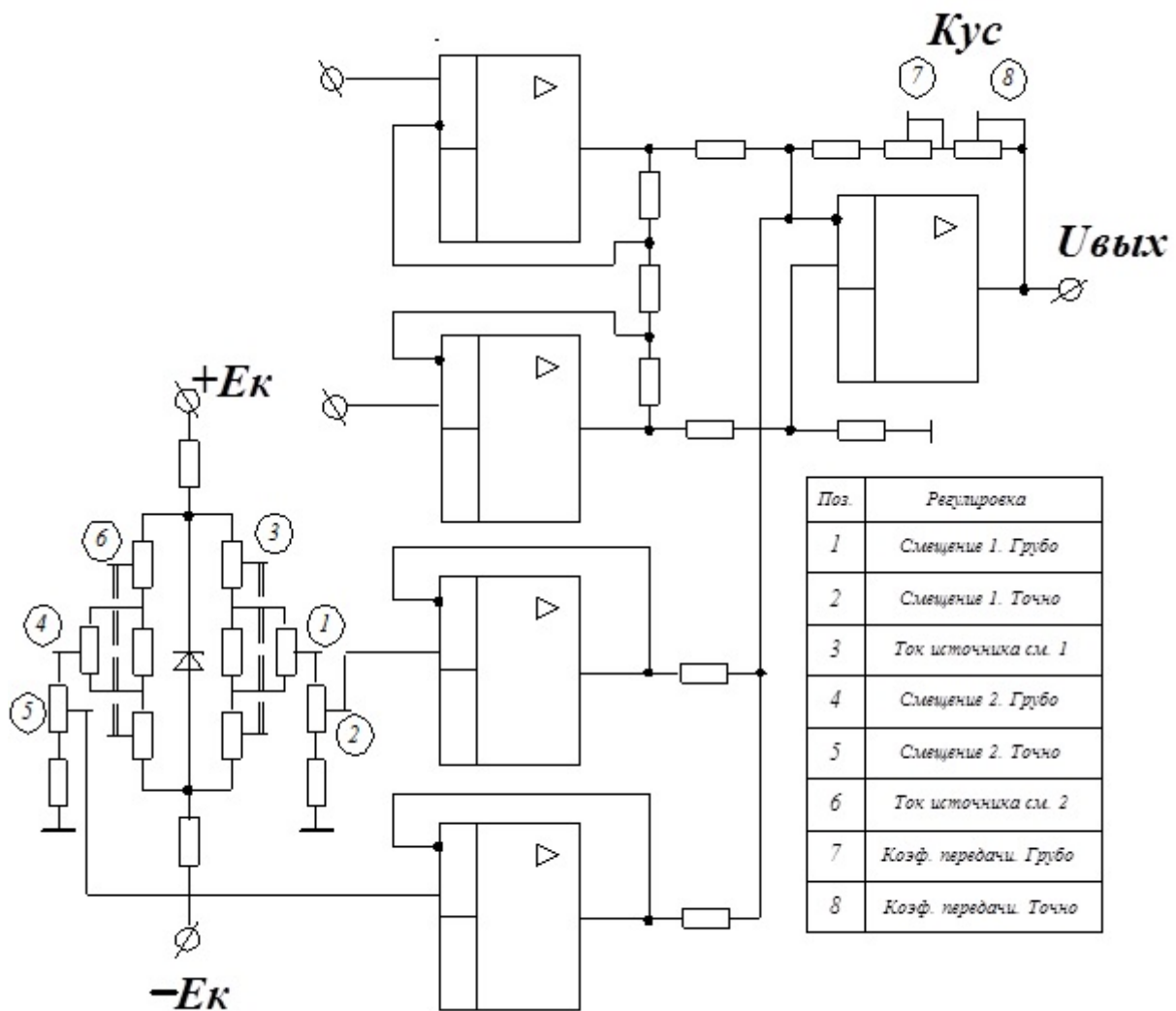


Рисунок 2.14 – Схемне рішення нормуючого перетворювача, що використовується при моделюванні

2. Джерела зсувів встановити в нуль.

3. Налаштування відповідних коефіцієнтів передачі за каналами системи. До входу нормуючого перетворювача підключити джерело

сигналу. Визначитися зі знаком коефіцієнта передачі нормуючого перетворювача. Якщо вихідний сигнал джерела протифазінастроювальної сигналу: максимуму настроєчного сигналу відповідає мінімум сигналу джерела, то знак коефіцієнта передачі має бути «-1», якщо вони збігаються, то «+1».

4. Компенсація систематичної складової напруги зсуву. Відключити джерело сигналу. Вхід нормуючого перетворювача закоротити. Вихідний сигнал нормуючого перетворювача містить тільки систематичне зміщення. Виміряти величину систематичного зсуву. Маніпулюючи органами налаштування першого вузла зсуву, домогтися з встановленою точністю компенсації систематичного зсуву вихідного сигналу.

5. Налаштування уніфікованих параметрів вихідного сигналу. До входу нормуючого перетворювача підключити джерело сигналу. Маніпулюючи органами налаштування другого вузла зсуву, домогтися з встановленою точністю збігу максимального значення вихідного сигналу нормуючого перетворювача з верхньою межею необхідного уніфікованого діапазону сигналів. Виміряти значення мінімуму сигналу. Воно має збігатися з встановленою точністю за нижньою межею уніфікованого діапазону. Невиконання останнього вимагає точного підстроювання або другого зміщення, або коефіцієнта передачі, або обох цих параметрів.

Після налаштування процесу вимірювального моніторингу було проведено імітаційний експеримент, результатом якого стало визначення найбільш впливового фактора, а саме – взаємний вплив вимірювальних каналів.

Математично враховувати взаємний вплив можна шляхом введення показника взаємної корекції. Запропоновано алгоритм обліку цих похибок як винятку (обліку) взаємного впливу. Концентрації вимірюваних параметрів і температура - нормально розподілені. Відповідно до принципу максимуму ентропії це найгірший режим роботи вимірювальної системи. Виконується 400 вимірювань, визначаються статистичні характеристик і вимірювань та їх достовірність. На рисунках 2.15 і 2.16 одночасно накладені результати

вимірювань істинних і отриманих значень. різниця між цими значеннями (приведена похибка) наводиться до діапазону вимірювання.

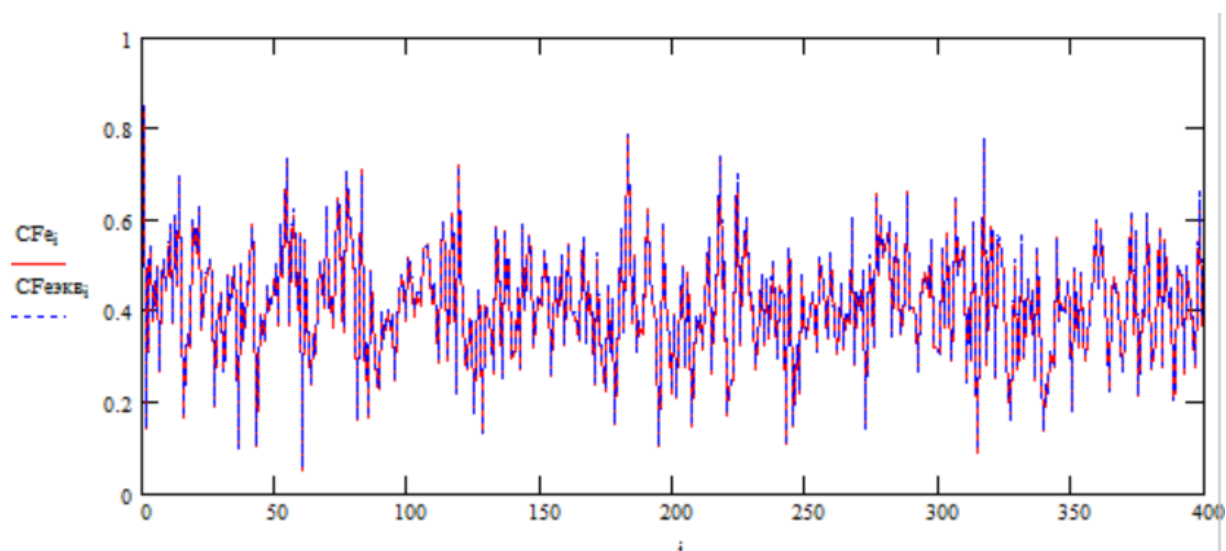


Рисунок 2.15 – Різниця між отриманими та дійсними значеннями параметрів для каналу Fe

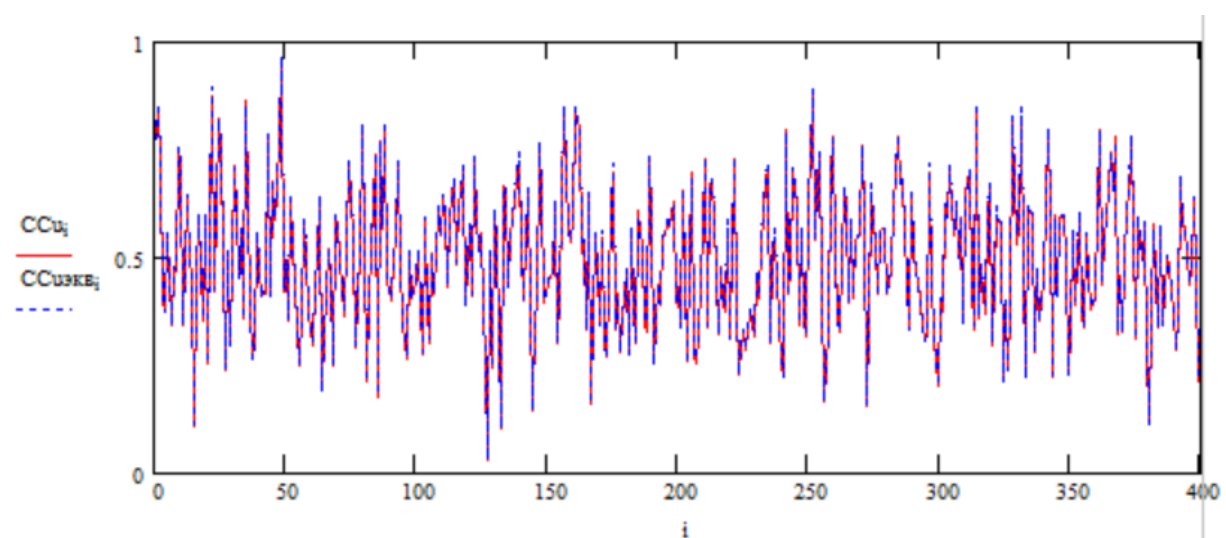


Рисунок 2.16 – Різниця між отриманими та дійсними значеннями параметрів для каналу Cu

Обчислені складові похибок вимірювання із використанням запропонованої методики для двох вимірювальних каналів наведено на рисунках 2.17 і 2.18.

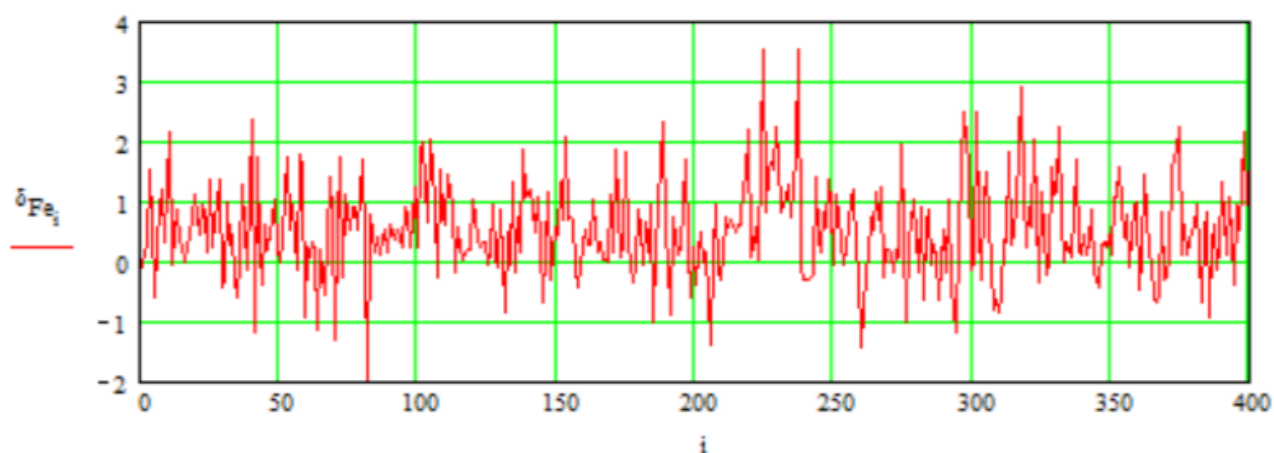


Рисунок 2.17 – Діапазон зміни складових похибок для каналу заліза

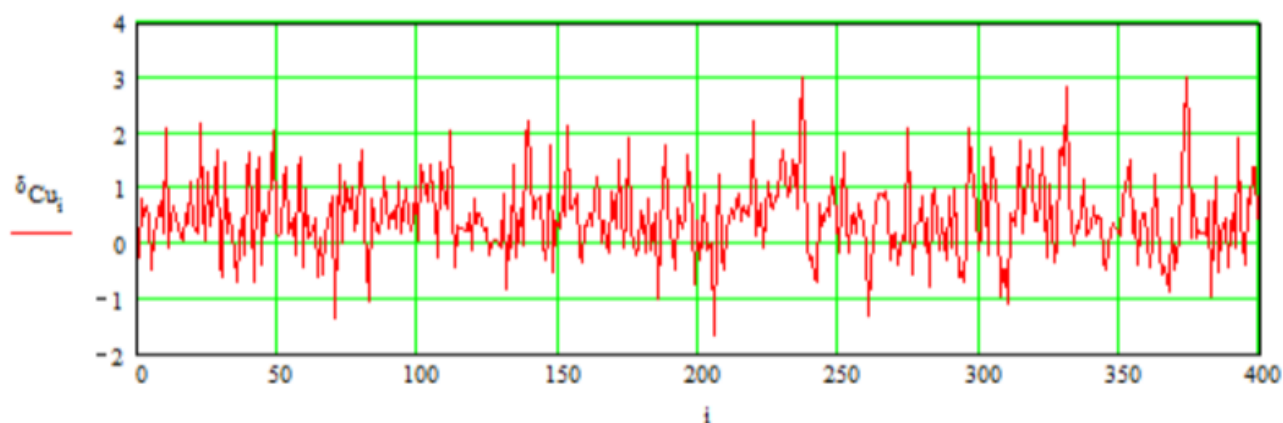


Рисунок 2.18 – Діапазон зміни складових похибок для каналу міді

2.4. Висновки за розділом

1. Проведено аналіз критичних дестабілізуючих факторів, який довів збільшення похибки вимірювання через дію конкуруючих іонів та температури, тому необхідно передбачити відповідні засоби корекції похибки.

2. Проведено математичне моделювання досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи, що складалося із трьох етапів: налаштування ІВС на робочий діапазон зміни вимірюваного параметра, градуювання ІВС задля отримання залежності між вимірюваним параметром та вихідною величиною робочого електроду з обліком впливу дестабілізуючих факторів.

3. Проведено математичне моделювання аналогових компонент електронної системи, що дозволило обґрунтувати вимоги до її структурно-алгоритмічної організації.

4. Досліджено вплив вимірювальних каналів один на одного та обґрунтовано алгоритм корекції такого негативного впливу.

РОЗДІЛ 3

СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Структурний підхід до підвищення точності електронної системи

Лінеаризація характеристики перетворення є окремим частинним випадком корекції статичних показників перетворювачів. Вона представляє собою сукупність конструкторських, математичних, технологічних та структурно-алгоритмічних прийомів, які спрямовано на забезпечення з заданою точністю показника лінійності функції перетворення.

Структурні методи лінеаризації статичних характеристик перетворювачів засновані на застосуванні додаткових пристроїв корегування відповідним чином включених до ланцюга перетворення. Ці методи є найбільш універсальні, відносно простими в схемотехнічній реалізації за умови одночасного забезпечення високого ступеня наближення результуючої функції перетворення до необхідної [14 – 16]. У результаті аналізу й систематизації відомих методів, засобів і методик вимірювання концентрації важких металів було обрано метод прямої потенціометрії та прилад-аналог (Іономір І 160-М), на основі якого була розроблена структурна схема досліджуваної ІВС з деякими доповненнями, яку наведено на рисунку 3.1.

Вимоги до структурно-функціонального рішення електронної системи визначення концентрації іонів важких металів у воді є наступними:

- ІВС визначення концентрації іонів важких металів призначена для оперативного вимірювального концентрації іонів заліза та міді у природних та стокових водах в режимі реального часу;

- ІВС має бути забезпечена підсистемами пробопідготовки, вимірювальними каналами Fe і Cu та мікропроцесорну систему обробки результатів спостережень;

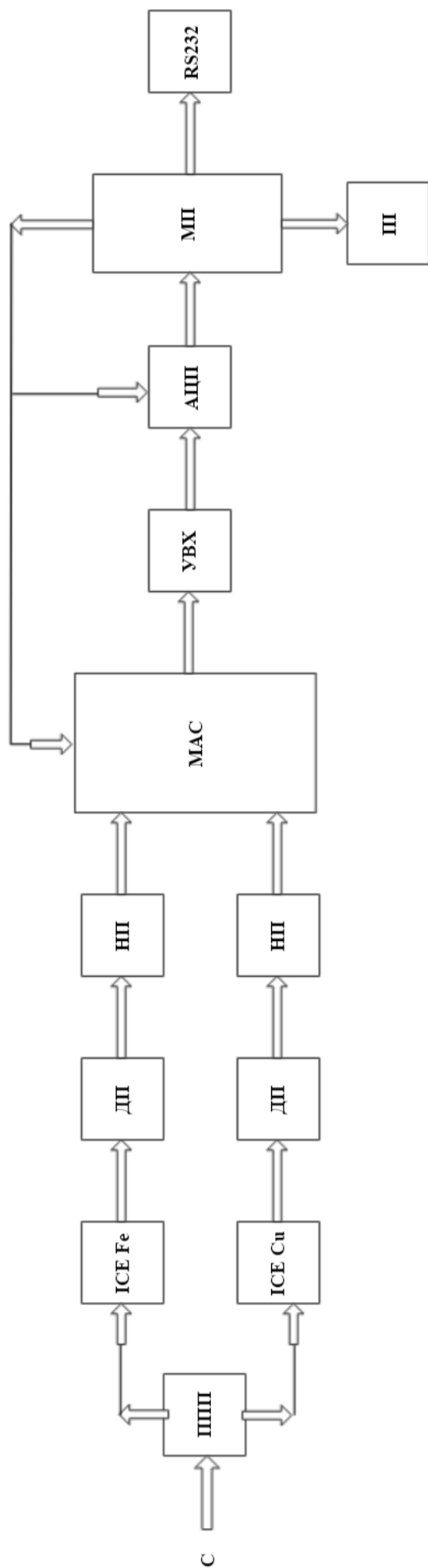


Рисунок 3.1 – Структурна схема електронної системи контролю концентрації іонів важких металів у воді

– система підготовки проб призначена для формування необхідних параметрів рідини, що досліджується, для забезпечення проведення максимально точних вимірів концентрації іонів заліза та міді у воді.

Запропонована структурна-алгоритмічна реалізація функціонує на базі потенціометричного методу і дозволяє проводити вимірювання в режимі реального часу. Проте для проведення вимірювання необхідна підготовка зразка проби (стабілізація температури у зв'язку з цим). В якості структурного рішення цієї проблеми можна додати канал стабілізації температури, де буде розташований сенсор, регулюючий рівень температури; додати канал регулювання рН, де здійснюватиметься дозування реагенту та контроль рівня рН; додати канал визначення складу проби. Корекція кожного дестабілізуючого фактора має бути промодельована, а процес моделювання повинен бути замінений відповідним пристроєм, який треба підібрати, щоб з максимальною точністю відобразити вихідний сигнал.

3.2. Алгоритмічний підхід до підвищення точності системи

Під алгоритмічними способами підвищення точності розуміють синтез відповідного програмного коду для розрахунку дестабілізуючого впливу факторів та їх облік під час подальших вимірювань з метою їх компенсації та отримання задовільної точності вимірювання. Прикладом таких методів може виступати планування математичного експерименту. Це активний експеримент, який полягає у активному втручанні впродовж процесу заздалегідь обраним планом. План експерименту передбачає умови та кількість проведення дослідів і визначає точність отриманої математичної моделі.

Всі плани можна розділити на плани оптимізації та апроксимації. Для оптимізації (екстремальний експеримент) шукають найкращі умови функціонування об'єкта. Під час апроксимації встановлюється частинний вигляд аналітичної залежності між параметрами і впливними факторами.

Експеримент може бути фізичним та імітаційним. В останньому випадку також з успіхом можна використовувати теорію планування. Розрахунки можна виконувати для випадків, коли процеси в об'єкті описані дуже громіздкими і складними системами рівнянь. Однак для отримання результатів часто буває важко зробити висновки про оптимальний функціонуванні об'єкта або видах залежностей між параметрами і факторами. Теорія планування експерименту дозволяє зняти ці труднощі.

Залежно від того, коефіцієнти якого полінома знаходяться при експерименті, розрізняють плани першого і вищого порядків.

Задля отримання чисельних значень показників точності електронної системи неруйнівного вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у природних та стічних водах необхідно провести наступні експерименти:

- дослідити вплив дестабілізуючих чинників на величину корисного сигналу й визначити значення цих параметрів за максимальної величини корисного сигналу;
- визначити вплив неінформативну складову параметрів на вигляд градуовальної характеристики;
- встановити вплив неінформативних параметрів на складові похибки інформаційно-вимірювальної системи;
- оцінити підсумкові метрологічні показники ІВС визначення концентрації іонів важких металів.

3.3. Оцінка метрологічних характеристик досліджуваної електронної системи

Виконає розрахунок метрологічних характеристик розроблюваного вимірювального каналу для найкритичнішого випадку вимірювання, адже виходячи з принципу максимуму ентропії при цьому похибка буде найбільшою. Отже, допустимо, що концентрація іонів у стічних водах має підкорятись

нормальному випадковому закону розподілу імовірностей, який зображено на рисунку 3.2 – для концентрації іонів заліза та рисунку 3.3 – для концентрації іонів міді [17].

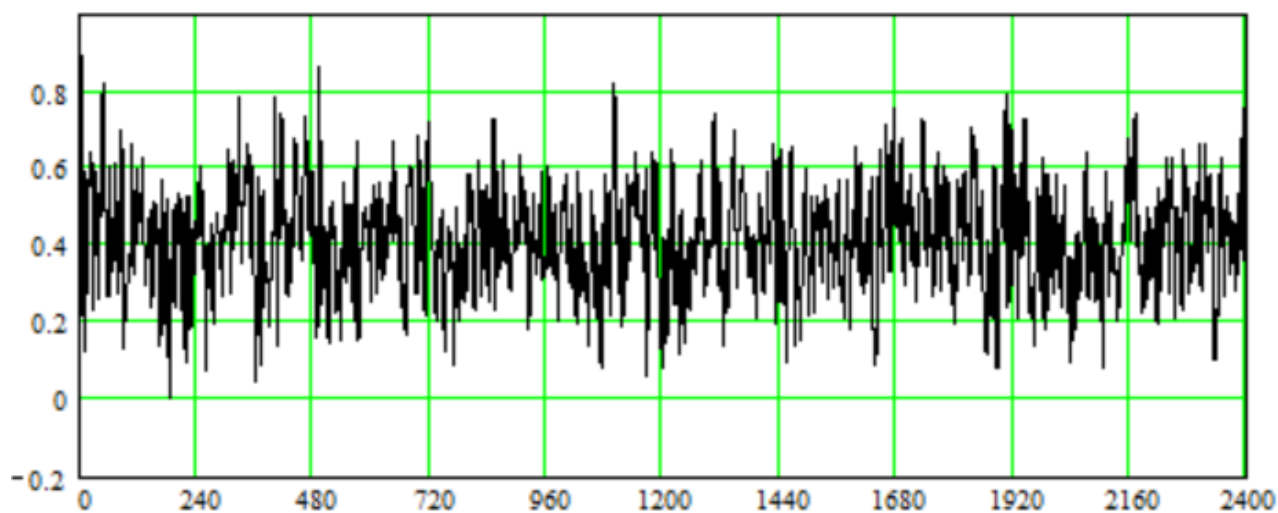


Рисунок 3.2 – Графік зміни концентрації іонів заліза

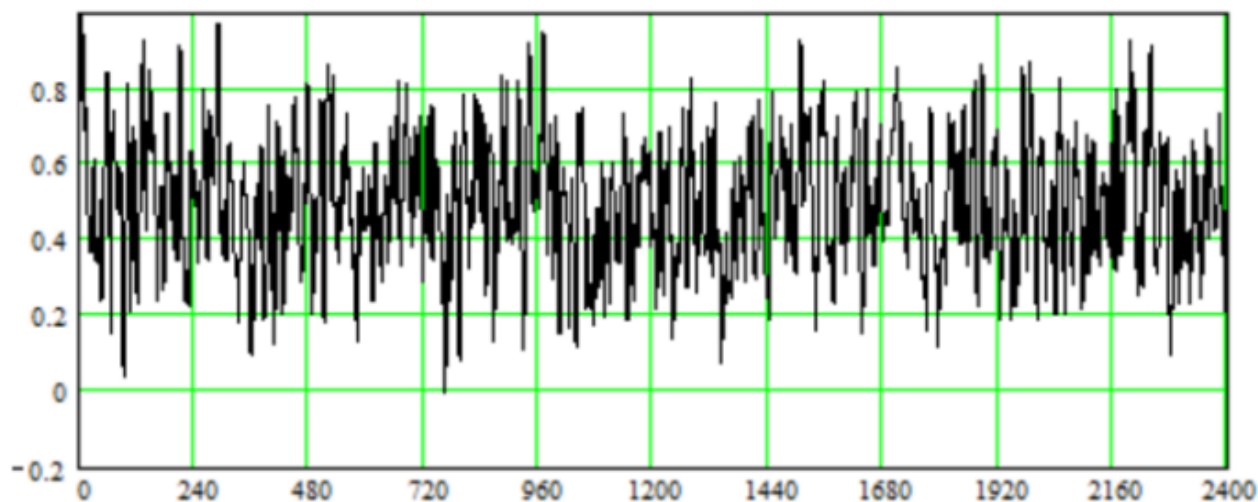


Рисунок 3.3 – Графік зміни концентрації іонів міді

З обліком статичних характеристик перетворення структурних елементів ІВС отримаємо графік зміни напруги ІСЕ в залежності від концентрації іонів металів, як показано на рисунку 3.4.

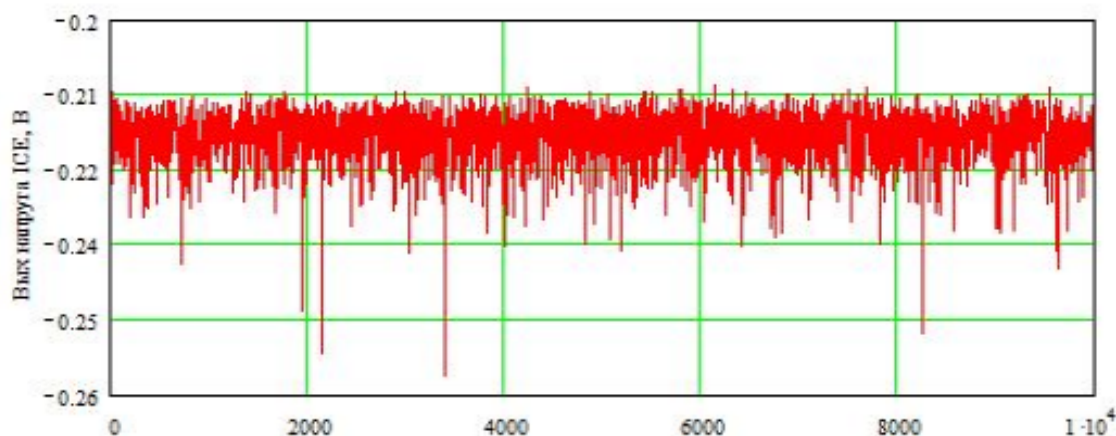


Рисунок 3.4 – Графік зміни вихідної напруги ICE

Після перетворення сигналу в аналого-цифровому перетворювачі та подальшої статистичної обробки даних отримуємо кінцеві результати вимірювання, які відповідають початковим значенням концентрації іонів. Отже, підсумкові результати моделювання процесу вимірювання, які відповідають початковим значенням концентрації іонів наведено на рисунку 3.5.

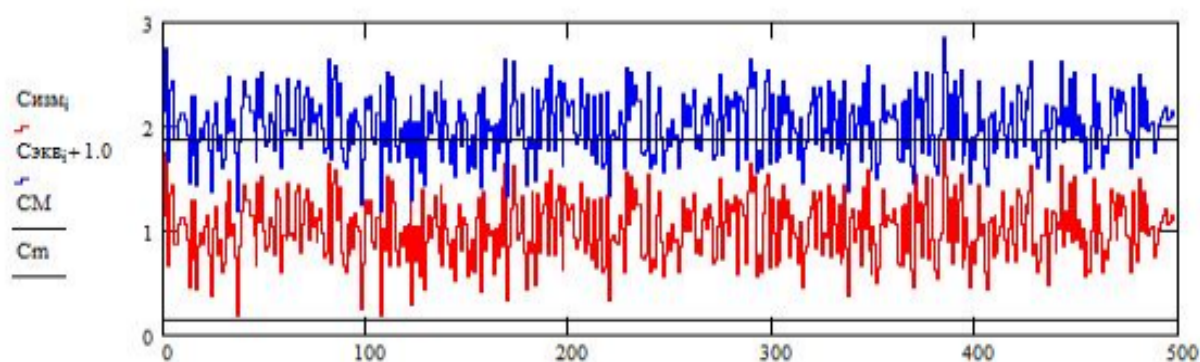


Рисунок 3.5 – Відповідність результатів вимірювання початковим значенням концентрації іонів важких металів

Розрахунок абсолютної основної похибки вимірювання виконано за формулою:

$$\varepsilon = C_{\text{екв}} - C_{\text{вим}} \quad (3.1)$$

Побудуємо графік залежності абсолютної похибки від поточного номера спостереження. На рисунку 3.4 зображено графік абсолютної похибки результату вимірювання.

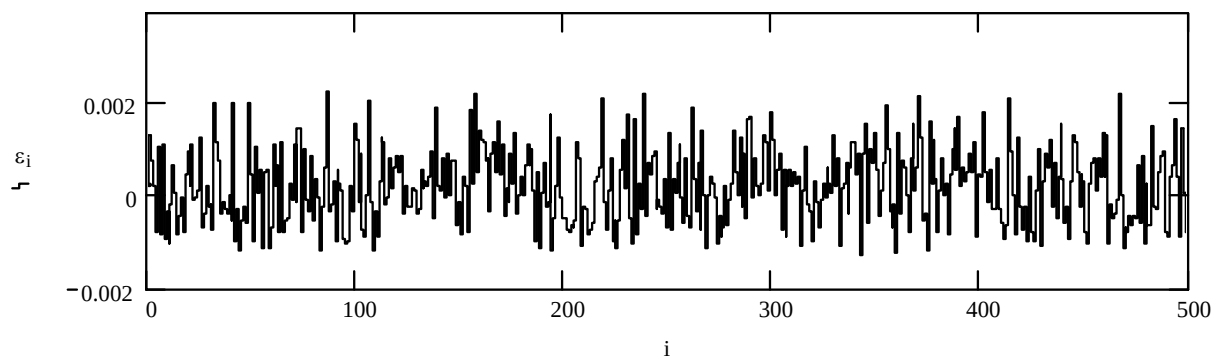


Рисунок 3.6 – Графік абсолютної похибки результату вимірювання

Значення концентрації іонів:

- мінімальне: 0 об.%;
- максимальне: 2,5 об.%.

Довірча ймовірність: $\beta=0,95$.

Коефіцієнт Ст'юдента: $t=1,96$.

Розрахуємо математичне очікування абсолютної похибки за формулою:

$$m_{\varepsilon} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^n \varepsilon_k = 2,21 \cdot 10^{-4} \text{ об. \%} . \quad (3.2)$$

Розрахунок дисперсії виконано за формулою:

$$D\varepsilon = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^n \left(\delta Fe_k - m_{\varepsilon} \right)^2 = 6,39 \cdot 10^{-7} \text{ об. \%} \quad (3.3)$$

Розрахунок значення с.к.в. виконано за формулою:

$$\sigma_{\varepsilon} = \sqrt{D\varepsilon} = 7,99 \cdot 10^{-4} \text{ об.}\% \quad (3.4)$$

Варто зазначити, що запропонований спосіб оцінки метрологічних характеристик не є повним, оскільки він враховує вплив декількох дестабілізуючих факторів.

3.4. Висновки за розділом

У даному розділі було розглянуто можливі підходи до підвищення точності досліджуваної електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу, а саме: структурні та алгоритмічні методи усунення впливу дестабілізуючих факторів.

Проведені дослідження довели, що для функціонування системи вимірювання концентрації іонів важких металів з достатньо високою точністю необхідними є підсистема термостабілізації з коливаннями не більше ± 1 °C та алгоритм корекції взаємного дестабілізуючого впливу вимірювальних каналів.

РОЗДІЛ 4

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ

4.1. Обґрунтування впровадження бездротової технології обміну інформацією

Технологія ZigBee та модулі на її основі XBee є готовими до застосування пристроями, які здатні самостійно об'єднуватися в бездротові мережі з різною топологією, а саме: точка-точка, зірка, MESH та ін. Підключений до мережі модуль забезпечує передачу даних на будь-який інший вузол мережі або на всі вузли одночасно в повнодуплексному режимі. Передача даних здійснюється за послідовним сертифікованим послідовним інтерфейсом UART від зовнішнього хост-процесора, в якості якого може виступати персональний комп'ютер або найпростіший серійний 8-розрядний мікроконтролер [18 – 22]. Завдяки вбудованому програмному забезпеченню високого рівня всі операції з формування мережі, підключення нових пристроїв, прокладання оптимальних маршрутів повідомлень здійснюються автоматично та не потребують участі зовнішнього мікроконтролера для керування роботою такої мережі. Зовнішній вигляд модулів наведено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд модулів XBee

На даний момент компанія Digi пропонує для модулів XBee кілька варіантів мережевих протоколів: стандартні стеки ZigBee-2006, ZigBee Pro і фірмовий протокол DigiMesh.

Мережевий протокол DigiMesh був створений та впроваджений компанією Digi восени 2008 року у вигляді уніфікованих прошивок для серійних модулів XBee 802.15.4, що побудовані на базі радіочастотної мікросхеми Freescale MC13213.

Унікальною характерною особливістю протоколу DigiMesh є можливість побудови мережі сенсорів із ретрансляторами (роутерами), які можуть знаходитись у сплячому (пасивному) режимі задля реалізації енергозберігаючих технологій.

У мережі DigiMesh немає координатора з виділеної роллю. Кожен із вузлів мережі може взяти його функції на себе.

Прокладка і відновлення маршрутів у даній топології мережі здійснюється автоматично. Подібна побудова мережі гарантує проходження інформації під час виходу з ладу будь-якого вузла, так як в мережі DigiMesh немає «слабкої ланки», відмова якої могла б привести до повної непрацездатності системи. Загальний вигляд такої технології наведено на рисунку 4.2.

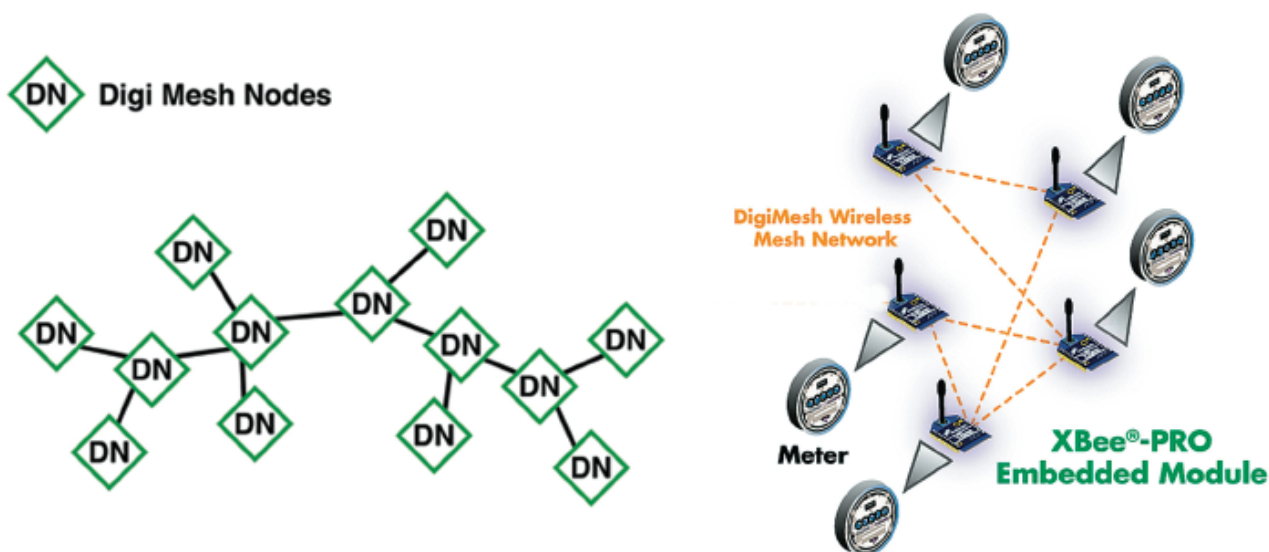


Рисунок 4.2 – Структурна схема мережевого протоколу DigiMesh

4.2. Моделювання модуля бездротового обміну інформацією

Налаштування модуля ZigBee виконано із використанням спеціалізованого програмного модуля XCTU, який інтегровано для роботи в ОС Windows, як показано на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Етапи налаштування модуля

У такому підході моделювання задіяно два модулі: перший – відправник інформації, а другий приймач (кінцевий пристрій). Отже, такі модулі мають свої особливості налаштування відповідно до режимів роботи, як показано на рисунках 4.4 і 4.5, відповідно.



Рисунок 4.4 – Вікно налаштування передавача

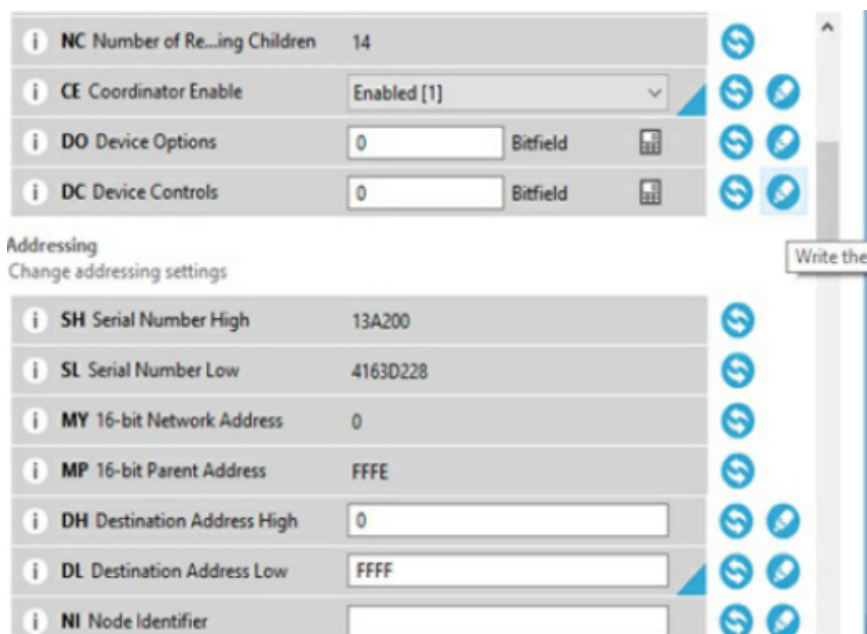


Рисунок 4.5 – Вікно налаштування приймача

Наступним етапом розробки імітаційної моделі досліджуваної електронної системи вимірювального контролю була розробка принципової схеми підключення модуля до мікропроцесорної платформи Arduino UNO, як показано на рисунках 4.6 і 4.7.

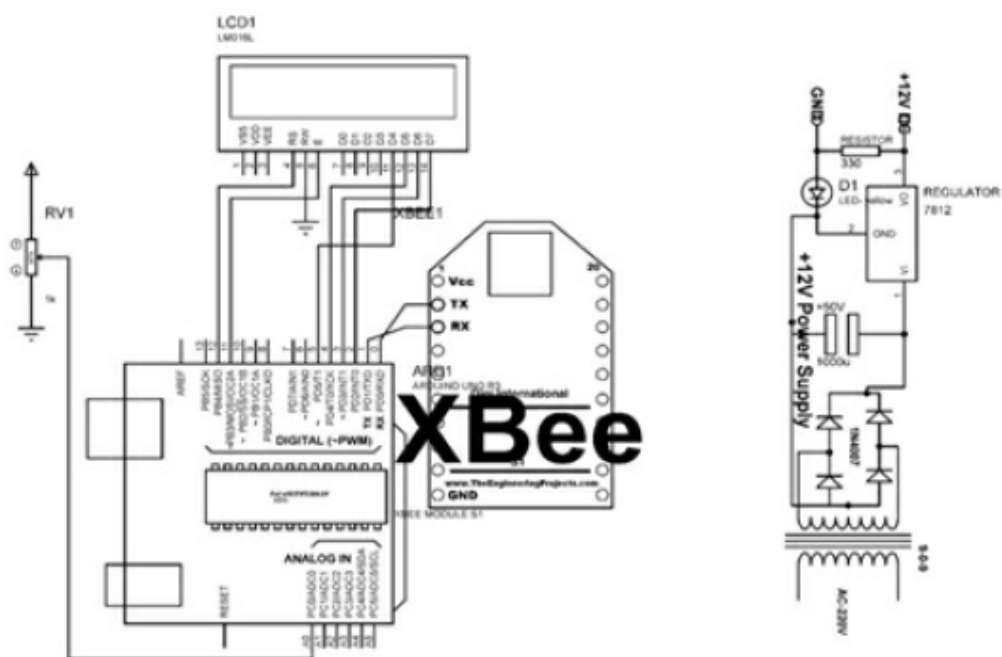


Рисунок 4.6 – Принципова схема підключення передавача

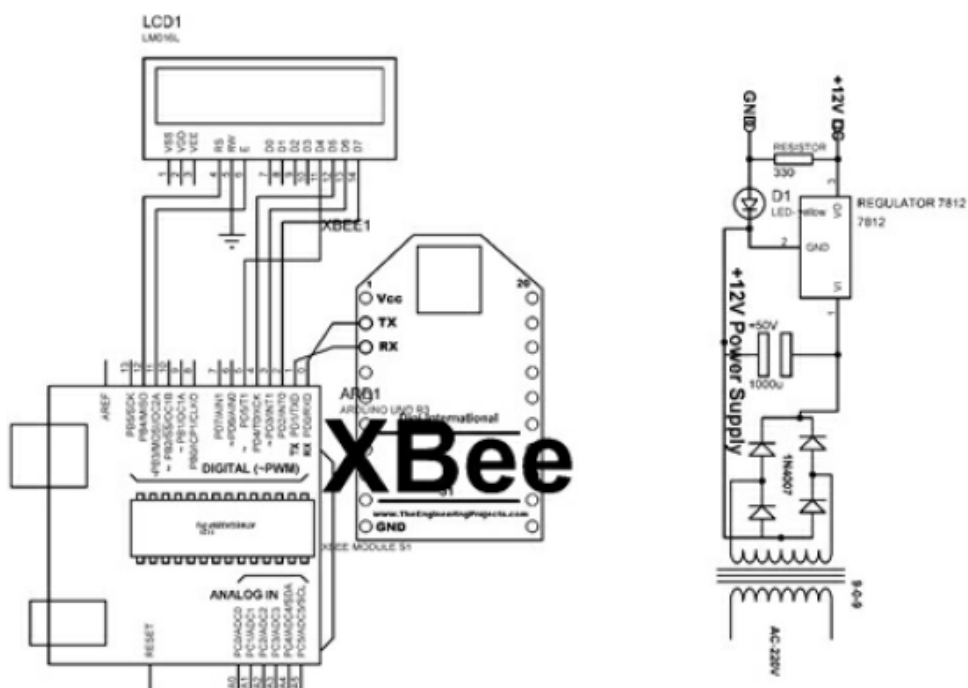


Рисунок 4.7 – Принципова схема підключення приймача

Розроблена імітаційна модель блоку бездротового обміну вимірювальною інформацією у середовищі спеціалізованого комп'ютерного моделювання та тестування Proteus наведена на рисунку 4.8.

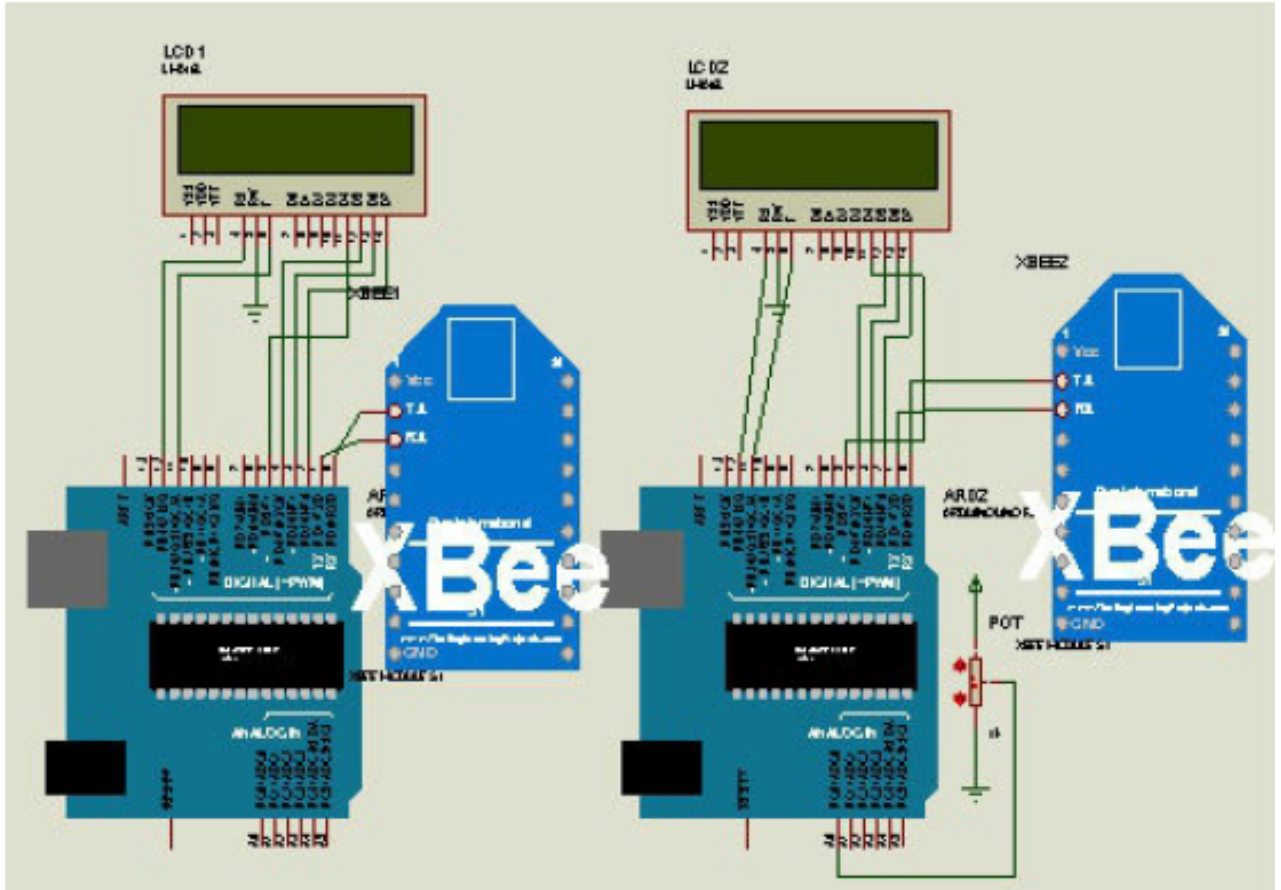


Рисунок 4.8 – Імітаційна модель електронної системи

4.3. Програма компонента підсистеми обміну інформацією

Результати розробки та тестування програмного продукту в програмному модулі Arduino IDE для досліджуваної електронної системи наведено на рисунках 4.9 і 4.10 для приймача і передавача, відповідно.

Запропоноване програмне забезпечення дозволяє виконувати функції первинної статистичної обробки результатів неруйнівного вимірювального моніторингу, синхронізувати роботу приймача і передавача та відображати поточні результати вимірювань на рідкокристалічному дисплеї.

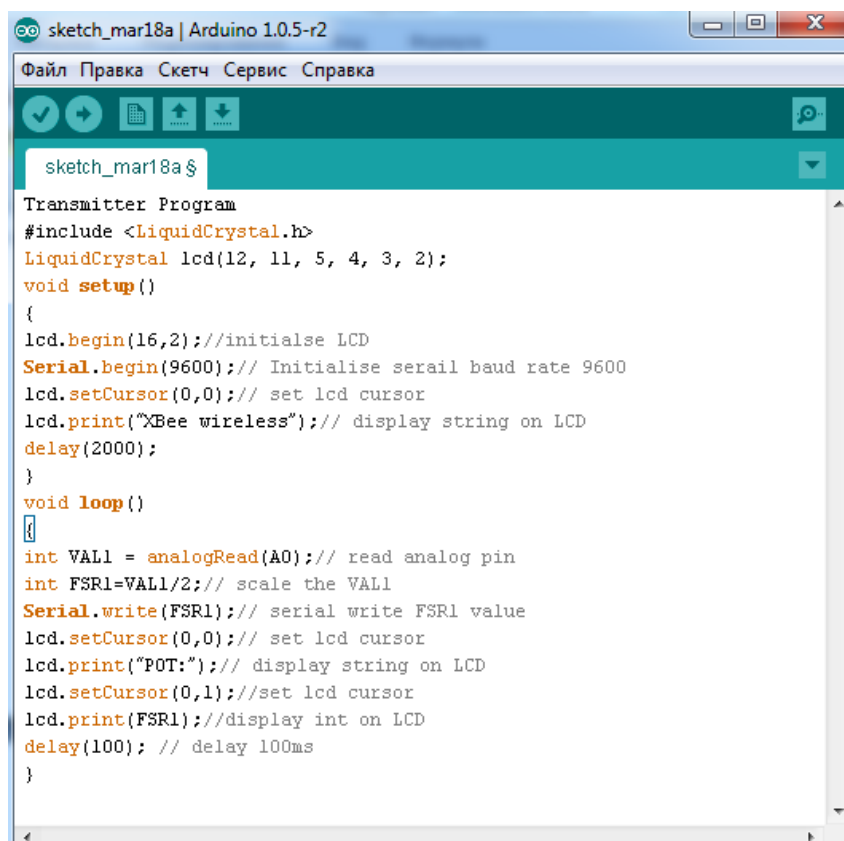


Рисунок 4.9 – Програмна компонента передавача

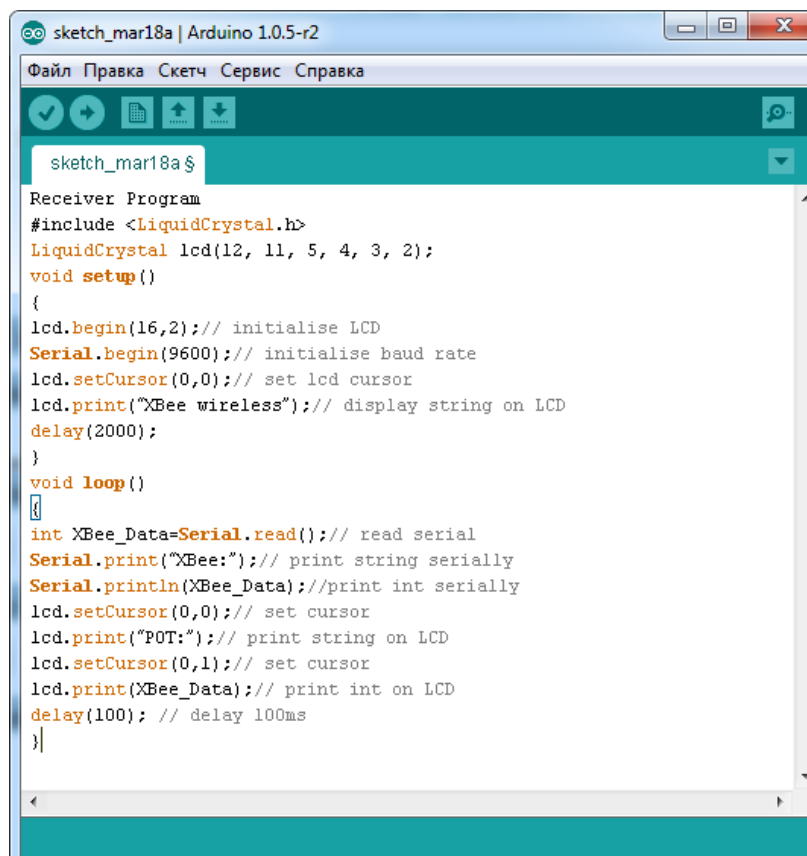


Рисунок 4.10 – Програмна компонента приймача

4.4. Висновки за розділом

У результаті проведених досліджень в даному розділі було отримано наступні результати:

1. Обґрунтовано можливість використання технології XBee задля реалізації бездротового обміну інформацією під час роботи електронної системи вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у воді.

2. Розроблено комп'ютерну імітаційну модель підсистеми бездротового обміну інформацією під час роботи електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів у воді.

3. Синтезовано і протестовано програмну компоненту електронної системи вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у воді.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи було проведено дослідження з розробки електронної системи вимірювального контролю концентрації іонів важких металів у природних водних середовищах.

В ході виконання досліджень розглянуто та обґрунтовано основні джерела забруднення природних вод річок. На цій підставі описано вплив важких металів на поточний і прогнозований стан водних ресурсів, а також здоров'я і життя людини. Проведено аналіз методів і методик та відомих серійних засобів вимірювання концентрації іонів важких металів. В результаті цього аналізу було обрано в якості метод прямої потенціометрії.

Під час аналізу було встановлено сукупність основних дестабілізуючих факторів, облік яких дозволяє істотно зменшити похибку вимірювального моніторингу.

Проведено дослідження з розробки математичної моделі електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу, яке складалось із трьох основних етапів: налаштування вимірювальної системи на весь діапазон зміни вимірюваного параметра, градуювання електронної вимірювальної системи, оцінки метрологічних характеристик системи та ступеня впливу неінформативних параметрів.

Обґрунтована та розроблена структурна схема електронної інформаційно-вимірювальної системи визначення концентрації іонів важких металів у воді. Розглянуто структурні та алгоритмічні підходи до усунення впливу впливних факторів.

Після налаштування процесу вимірювання був проведений імітаційний експеримент, результатом якого стало визначення найбільш впливового фактора, яким виявився взаємний вплив вимірювальних каналів один на одного. Були розроблені алгоритми корекції взаємного впливу вимірювальних каналів та отримано їх чисельні оцінки точності.

Обґрунтовано можливість використання технології XBee задля реалізації

бездротового обміну інформацією під час роботи електронної вимірювальної системи визначення концентрації іонів важких металів у воді, а також розроблено комп'ютерну імітаційну модель підсистеми бездротового обміну інформацією під час роботи електронної системи неруйнівного вимірювального моніторингу концентрації іонів важких металів у воді.

Обґрунтовано основні заходи з охорони праці під час виконання експериментальних досліджень магістерської роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Третьяков, С.В. Земля тревоги нашей / С.В. Третьяков. – Донецьк, 2009. – 192 с.
2. Географічна Енциклопедія України, 1993. – 480 с.
3. Лурье, Ю.Ю. Аналитическая химия производственных сточных вод. – 1984.
4. Мур, Дж., Рамамурти, С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. – 1987. – 288 с.
5. Матеріали радіологічного центру “Стакс”.
6. Полянський, Н.Г. Аналитическая химия элементов. – М.: Наука, 1986. – 357 с.
7. Осипова, Е.А. Електроаналітичні методи і проблеми охорони навколишнього середовища. – 2001. – 335с.
8. Серебряков, А.С.Можливості рентгенофлуоресцентного аналізу. – 2011.
9. Львов, Б.В. Атомно-абсорбційний спектральний аналіз. – 1966.
10. Булатов, М.І., Калінкін, І.П. Практичний посібник для фотометричних методів аналізу. – 1995.
11. Камман, К. Работа с ионоселективными электродами. – М.: Мир, 1980.
12. Росс, Дж. Ионоселективные электроды / Под ред. Р.Дарста. – М.: Мир.
13. Справочное руководство по применению ионоселективных электродов. – М.: Мир, 1986. – 231с
14. Гусев, В.Г. Гусев, Ю.М. Электроника. – 1991. – 624 с.
15. Изъюрова, Г.И. Расчёт электронных схем. Примеры и задачи. – 1987. – 335 с.
16. Примаков, А.В. Системный анализ контроля и управления качеством. – К.: Будівельник, 1991. – 152 с.
17. Радченко, Н.Н., Мнускина, В.В. Оценка загрязнения реки тяжёлыми металлами. Донецьк. – 2002. – Т.1.

18. Warlina, N. Pencemaran Air, Sumber dan Dampak Mara Menanggulangnya Institut. – Pertanian Bogor, Indonesia Thesis. – 2004.
19. Iswahyudi, N. Pengendalian Sirkulasi pH Air Pada Tambak Udang Berbasis Arduino Uno, Informatics, Universitas Islam Negeri Alauddin Makasar, Indonesia Undergraduate Thesis. – 2017.
20. Rao, A.S., Marshall, S., Gubbi, J., Palaniswami, M., Sinnott, R.O., & Pettigrov, V. Design of low-cost autonomous water quality monitoring system. 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). – 2013. pp. 14–19.
21. Nasser, N., Ali, A., Karim, L., & Belhaouari, S. An efficient Wireless Sensor Networkbased water quality monitoring system. In 2013 ACS international conference on computer systems and applications (AICCSA). – 2013. – pp.1–4.
22. Cloete, N.A, Malekain, R and Nair, L. Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring. In Proceedings of IEEE Access. IEEE, 16 July 2016. – pp. 3975–3990.

ДОДАТОК А – ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

А.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 6 метрів на 3,5 метрів. 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., генератор сигналів потужністю 0,06 кВт/год., осцилограф потужністю 0,05 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,6 кВт/год., 4 лабораторні блоки живлення потужністю 0,15 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 3,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 6-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».

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

- напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;
- значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;
- випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на електронно-променевих грубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання, електростатичні полюси);

- механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючої пристрою (принтера), вентиляторів системи охолодження, приводів читання CD-дисків та вібрація; іонізація повітря;

- наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп'ютером:

- комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявної, короткозорості.

- проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шийі, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шийі, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частої і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.

- синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

- вплив на імунну систему. При впливі електро-магнітного випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ,

змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригніченню імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.

– вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналіну в крові, активацією процесів згортання крові.

– вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на-відмінність єдиного симптому мало ймовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.

2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.

3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.

4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працюю; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

А.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одностороннім розміщенням світопрорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни

світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

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

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

де $Q_{\text{НАД}}$ – 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:

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

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

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

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

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

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

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

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

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

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питома 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:

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

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.); $K_{\text{ОСЛ}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

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 всім 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.

Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності. Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. 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 $E=200$ 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 СНП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії вимірювальної 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

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

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

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

де E – нормативна освітленість, лк; K_z – 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:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

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

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

А.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщенні лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути

призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захарашувати. По мірі нагромадження та закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що мають у приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

А.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях 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 пожеги 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:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{19} = 6,5 \text{ м}, \quad (\text{A.7})$$

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 певної мірі захищає від продуктів горіння.