

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр ВОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій»

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛТЗп-19
(шифр групи)

спеціальності _____ 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Делікатов Дмитро Вікторович
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник _____ проф. кафедри ЕТ, д.т.н., проф. _____ Анатолій ЗОРІ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент _____ доц. каф. ЕЛІн, к.ф.-м.н., доц. _____ Олена ЛЮБИМЕНКО
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

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

_____ Олександр ВОВНА
(підпис)

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра _____

Тема: «Розробка електронного пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТзп – 19

_____ Дмитро ДЕЛІКАТОВ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

_____ Анатолій ЗОРІ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____ Олександр ВОВНА
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Іван ЛАКТІОНОВ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Олександр ШТЕПА
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« _____ » 2022 року

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

Делікатов Дмитро Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.04.2022 року № 163

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 та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

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	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Зорі А.А.		
2.1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Зорі А.А.		
2.2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
2.3	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
3	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз методів моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій		
2	Розробка структурної схеми пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій		
3	Розробка електронного пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій		
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві		

Студент

(підпис)

Дмитро ДЕЛКАТОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Анатолій ЗОРІ

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Делікатов, Д.В. Розробка електронного пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних конструкцій / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 57 стор., 28 рис., 3 табл., 16 посилань.

Виконано аналіз методів моніторингу корозійного стану залізобетонних опор, що дозволило визначити їх базові недоліки. Зі застосуванням спектральних методів аналізу можна розв'язати цю задачу тому, що висновок щодо стану опори не можна формулювати за непрямими ознаками. Прямі методи моніторингу дозволяють визначити кількість заліза, що вийшла з арматури стрижня до поверхні залізобетонної опори. Розроблено пристрій для відбору проби з внутрішньої поверхні залізобетонних опор, який базується на використанні гнучкого відео ендоскопу, робочий орган якого має вид бормащини, що дозволяє одержати пробу в вигляді порошку, яку підготовлено для виконання спектрального аналізу. Розроблено схему структурну пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних опор. Схема має в своєму складі рухомий зонд, який розміщений всередині залізобетонної опори та є змога здійснення спектрального аналізу корозії на поверхні опори. Виконано вибір оптико-волоконного кабелю та лазера у пристрої моніторингу корозійного стану залізобетонної опори. Здійснено розробку пристрою позиціонування оптичного зонда в середині опори для вимірювання кількості продуктів корозії на поверхні залізобетону. Апаратну компоненту пристрою переміщення вимірювальних перетворювачів розроблено на платформі Arduino. Розроблено алгоритм керування пристроєм моніторингу, що реалізує метод спектрального аналізу корозії всередині залізобетонних опор контактних мереж.

Ключові слова: вимірювання, спектр, оптичний метод, корозійний стан, залізобетон, опора, контактна мережа, мікроконтролер, відбір проб.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	9
1.1 Аналіз характеристик і параметрів опору контактної мережі.....	9
1.2 Електрохімічний метод моніторингу корозії залізобетонних опор.....	16
1.3 Акустичний метод моніторингу корозії.....	17
1.4 Аналіз спектральних методів моніторингу корозії.....	20
1.5 Висновки.....	22
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ МОНІТОРИНГУ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	23
2.1 Пристрій відбору проби з внутрішньої поверхні залізобетонної опори.....	23
2.2 Розробка структурної схеми електронного пристрою моніторингу корозійного стану.....	28
2.3 Вибір і обґрунтування оптичних компонентів електронного пристрою моніторингу.....	29
3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ МОНІТОРИНГУ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	36
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві.....	51

ВСТУП

Контактна мережа є базовою частиною комплексу для взаємодії пристроїв у електрифікованій залізниці. Експлуатація контактної мережі здійснюється важких експлуатаційних і кліматичних умовах, таких як значні зміни температури повітря, нагрівання дротів, опади та ін. До показників надійності електричної мережі пред'являються дуже високі вимоги тому, що ця мережа не має резервування [1].

Одним з базових елементів контактної мережі є опора, яка застосовується для фіксації та підтримки електричних пристроїв. Через руйнування або падіння опори має місце обривання дротів контактної мережі, що є причиною зміни графіку потягів. Отже, діагностика стану опор контактної є актуальним завданням.

Одним з найрозповсюдженим матеріалом для будівництва опор є залізобетон тому, що він є відносно дешевим та міцним, а також доступною сировиною [2].

До основної причини зменшення міцності залізобетону є наявність корозії арматури, яка є каркасом опор. Вплив зовнішнього агресивного середовища призводить до збільшення корозії металу каркасу та руйнування залізобетонних конструкцій [3].

Розроблено та застосовуються такі методи моніторингу залізобетонних опор контактної мережі, проте вони мають такі недоліки [4]:

1. Метод вилучання опор є доволі трудомістким через їх відкопування та вплив людського фактору.

2. Індуктивний метод потребує вилучення під час відкопування опор. На результати вимірювання цим методом впливає зміна зовнішнього електромагнітного поля, а також неможливість моніторингу через наявність армування металом залізобетону. На результати вимірювання істотно впливає зміни товщини шару, а також ступінь притискання сенсора до поверхні опори.

Кількісне значення показника корозії визначається непрямим способом.

3. Електрохімічний та акустичний методи визначають кількісні показники корозії за непрямыми способами.

4. За допомогою вібраційного методу здійснюється моніторинг надземної частини конструкції, цим не визначаються ступінь корозії.

Сучасний перспективний метод моніторингу корозійного стану арматури залізобетону є емісійна лазерно-іскрова спектрометрія. Зі застосуванням цього методу визначається як наявність корозії, а також кількість заліза, яка знаходиться на поверхні конструкції, за цим можна зробити висновок щодо залишкової здатності опори.

Отже, в роботі пропонується застосовувати емісійну лазерно-іскрову спектрометрію для моніторингу залізобетонних опор контактної мережі та розробити пристрій, що можна застосовувати в польових умовах.

Метою випускної кваліфікаційної роботи є розробка технічних засобів для оцінки стану корозії залізобетонних конструкцій контактної мережі залізничного транспорту завдяки вимірювальному контролю продуктів корозії на поверхнях, що є важкодоступними.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Для розробки електронного пристрою моніторингу корозійного стану арматури опор контактної мережі, який може виконувати вимірювальний контроль з регламентованими метрологічними характеристиками в польових умовах. Отже, потрібно вивчити особливості конструкції цих опор, а також виконати аналіз відомих методів моніторингу. На базі виконаного аналізу вибирається методу моніторингу, який задовольняє вимогам.

1.1 Аналіз характеристик і параметрів опор контактної мережі

У кваліфікаційній випускній роботі об'єктом дослідження служить опори зі залізобетонну опори, що виготовляються у відповідності до ДСТУ 19330-91. Під час експлуатації цих опор виявлено один з їх головних недоліків – недостатня довговічність експлуатації.

У теперішній час загальна кількість опор у контактній мережі Укрзалізниці застосовується 95 % це опори зі залізобетону. Розвиток опор почався в 1929 року, у цей час прокладена перша електрична лінія залізниці, що триває до сьогодні.

На початку експлуатації опор для контактної мережі переважно застосовувалися опори з деревини, а також залізобетонні та металеві опори. Дерев'яні опори були виготовлено з сосни або модрина, які для продовження терміну експлуатації просочувалися матеріалами з антисептиками. Для виготовлення металевих опор був застосований сталевий прокат. Опор із залізобетону виготовлялися як циліндричні секції, які як каркас мали металеву арматуру.

До середини шістдесятих років минулого сторіччя з аналізу накопиченого досвіду застосування встановлено, що найбільший термін експлуатації мають металеві опори, оскільки за 30 років їх служби не виявлено істотних пошкоджень, а корозійні поверхневі процеси мають мінімальну величину.

До зазначеного періоду застосовуватися також опори з деревини, що були прості в виготовлені та дешеві. Проте дерев'яні опори мали один вагомий недолік: невеликий термін експлуатації, який складав для просочених антисептиком від 12 до 15 років, а без просочення від 3 до 4 років.

У цей період опори контактної мережі зі залізобетону практично не застосовувалися тому, що мали велику трудомісткість під час виготовлення. На наступному етапі у 1956 році прийнятий Генеральний план електрифікації залізниці, який передбачав електрифікацію 40 тисяч кілометрів залізничних шляхів. Реалізація цього плану передбачала використання великої кількості металу.

Під час виготовлення опор контактної мережі зі залізобетону потребувало в 4 раз менше металу, ніж під час виготовлення суцільно металевих опор. У 1955 році інститутом Гіпропромтрансбуд удосконалено конструкцію залізобетонних опор.

З 1993 року й по теперішній час прийнято новий підхід щодо відновлення та виготовлення залізобетонних опор. Опори зі залізобетону є важливими конструкціями тому, що їх відмова може призвести до виникнення загрози під час руху поїздів та життя пасажирів і персоналу залізниці, а також значним економічним втратам.

Опора контактної мережі є будівельною конструкцією, на якій закріплено пристрої. Опора складається зі стійки – верхньої частини та фундаменту (підземної частини) або опора є тільки стійкою.

Стійка опори контактної мережі сприймає навантаження. Основною функцією цієї стійки є передача зазначеного навантаження до фундаменту або до ґрунту.

Залізобетонні стійки виготовляються двох типів:

1. Стійки, які мають закопуватися в ґрунт або розміщуватися в склянці.

1.1. Стійка типу СС, яка має дротяну напружену арматуру та ненапружену стрижневу, конусність цієї стійки становить 1,5 %.

1.2. Стійка типу СП, яка має напружену стрижневу поздовжню арматуру, конусність цієї стійки становить 1,5 %.

1.3. Стійка типу СТ, яка має напружену стрижневу поздовжню арматуру, конусність цієї стійки становить 1%.

2. Стійки, що закріплено за допомогою анкерного кріплення до фундаменту, що здійснюється зі застосуванням анкерних болтів.

2.1. Стійка типу ССА, яка має дротяну напружену арматуру та ненапружену стрижневу, конусність цієї стійки становить 1,5%.

2.2. Стійка типу СПА, яка має напружену стрижневу поздовжню арматуру, конусність цієї стійки становить 1,5%.

2.3. Стійка типу СТА, яка має напружену стрижневу поздовжню арматуру, конусність цієї стійки становить 1%.

Креслення та геометричні розміри залізобетонної стійки типу 1 наведено на рис. 1.1, де позначено: 1 – стійка; 2 – отвори для розміщення заставних пристроїв; 3 – заставні пристрої.

Креслення та геометричні розміри залізобетонної стійки типу 2 наведено на рис. 1.2, де позначено: 1 – стійка; 2 – отвори для розміщення заставних пристроїв; 3 – заставні пристрої; 4 – отвір для вентиляції.

Опора контактної мережі протягом терміну експлуатації сприймає як постійні навантаження з різним знаком, так і на опору впливає зміни параметрів довкілля, що істотно впливає на довговічність опори в цілому [5, 6]. Під час дії цих впливів можуть мати місце ушкодження. Через вплив зміни параметрів довкілля мають місце корозійні ушкодження фундаменту опори.

Комплексна дія кліматичних умов експлуатації, а також зміна різних експлуатаційних факторів може призвести до зменшення несучої здатності опор із залізобетону [7, 8].

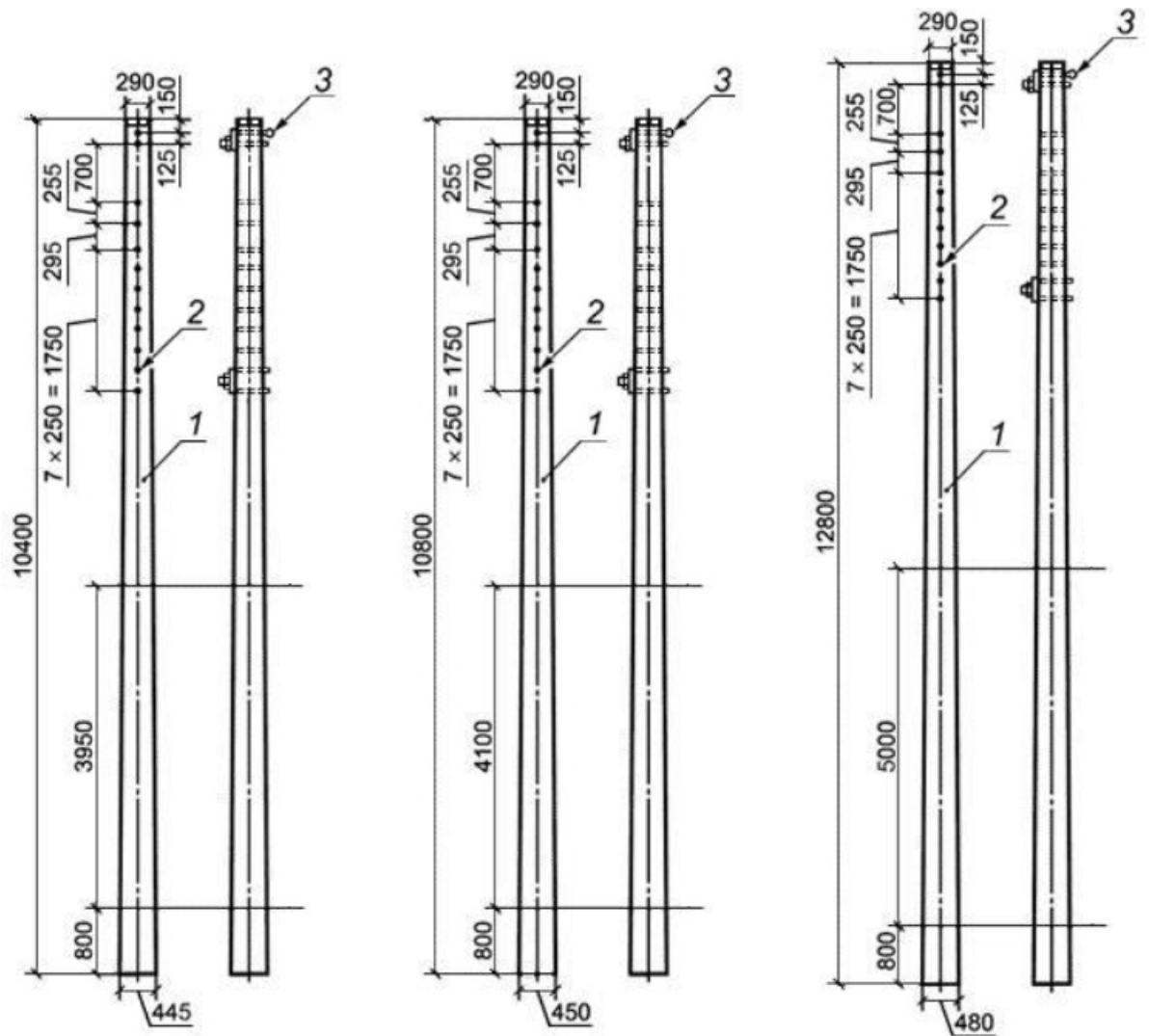


Рисунок 1.1 – Креслення та геометричні розміри залізобетонної стійки типу 1

Корозія – це процес руйнування матеріалів під впливом зміни факторів навколишнього середовища. До корозії схильні як метали та їх сплави, а також бетон [9].

Для повного розкриття терміну корозії необхідно розібрати декілька основних понять та визначень.

Вид корозії – це термін, що зв'язує пошкодження матеріалів та джерело виникнення корозії. Видів корозії такі: підземна, атмосферна, обумовлена електрокорозією та блукаючими струмами.

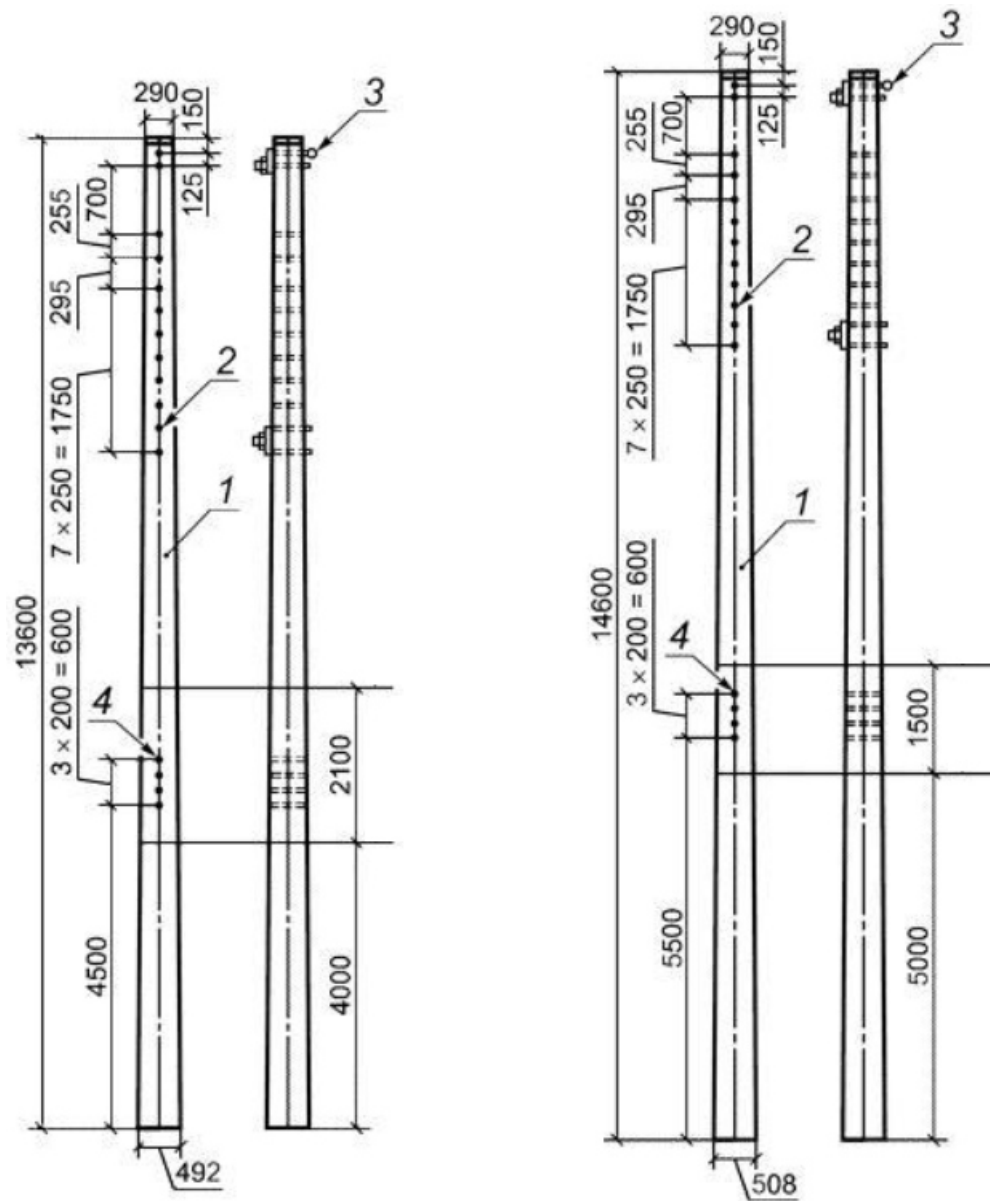


Рисунок 1.2 – Креслення та геометричні розміри залізобетонної стійки типу 2

Тип корозії визначає процеси, які мають місце всередині чи на поверхні матеріалу та є причиною його руйнування. Виділяють два типи корозії, які не залежать від виду корозії – електрохімічний та хімічний типи. Розділяють 7 видів корозії арматури та бетону, кожен з яких має різний характерний процес.

Корозія особливо небезпечна в арматурі підземної частини опори зі залізобетону, а також вкрай небезпечною є електрична корозія. Зазначений вид корозії може мати доволі високу швидкість руйнування опори [10]. Електрична корозія має місце під час впливу струмів витоку від рейок по арматурі, що

виникає в умовах блукаючих струмів та низького номінального значення опору. Найбільш небезпечна електрична корозія арматури має місце в знакозмінних і анодних зонах, коли величина щільності електричного струму, який стікає, більше ніж $0,6 \text{ мА/дм}^2$ та номінальне значення опору опори становить менше ніж 25 Ом, що приводиться до одного вольт потенціалу між рейкою та землею.

Аналіз видів корозії, їх агресивних факторів та процесів, що мають місце в арматурі та бетоні, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз видів корозії, їх агресивних факторів та процесів, що мають місце в арматурі та бетоні

Вид корозії	Агресивний фактор	Характер процесу
Арматура		
Ґрунтова корозія	Агресивні ґрунти, кисень	Під час збільшення об'єму утворюється електрохімічне окиснення та гідроксиди
Атмосферна корозія	Кисень, вологість повітря, агресивні гази	
Електрична корозія	Електроліз, стікання постійного струму з бетону та арматури	
Бетон		
Розчинення, що підсилюється під час протікання хімічних реакцій	Наявність іонів водню	Розчинення мінералів цементного каменю, що підсилено наявністю кислот
Вилуджування	Здатність води до розчинення	Розчинення мінералів цементного каменю, гідроліз гідросилікатів, гідрату оксиду кальцію

Продовження таблиці 1.1

Вид корозії	Агресивний фактор	Характер процесу
	Дія солей	Обмінні реакції, що відбуваються зі солями магнію
Утворення в бетоні нових речовин, що збільшують його об'єм	Наявність сульфатів	Утворення гідросульфоалюмінату кальцію, що істотно збільшує об'єм бетону
	Наявність сульфатів із хлоридами	Утворення двоководного гіпсу, що істотно збільшує об'єм бетону
	Наявність солі та поверхні, що випаровує	Накопичення солей в порах бетону, які переходять до іншої кристалогідратної форми та збільшують об'єм бетону
Газова корозія	Наявність в навколишньому середовищі кислих газів	Підсилена дія кислот та розчинення мінералів цементного каменю під час дії обмінних реакцій зі солями

У теперішній час до залізобетонних опор висуваються доволі високі вимоги щодо надійності та якості. На ділянках дії постійного струму електричної корозії необхідно здійснювати моніторинг підземної частини опор контактної мереж. Для цього зазвичай застосовується візуальний метод, тому потрібно спочатку цю опору відкопати. Цю операцію здійснюють в два етапи. Спочатку відкопують ті зони, що мають мінімальну величину навантаження. Глибина відкопування складає від 60 до 70 % але не менше ніж 0,5 м від глибини закопування опори або цей рівень визначається ґрунтовими водами. Після процесу відкопування залізобетон простукують молотком. Якщо має місце глухий звук та наявні плями корозії, а також візуально спостерігаються відшарування бетону та тріщини., то наведені факти свідчать щодо утворення пошкодження опори, яке обумовлено корозією. Візуальний огляд тріщини

здійснюється зі застосуванням мікроскопа, проте зазвичай використовують лупу. Визначення довжини здійснюється лінійкою. Вимірювальний контроль динаміки зміни тріщини здійснюється за допомогою гіпсової марки.

Виявлення дефектів в опорах контактної мережі здійснюється за такими етапами:

1. Виконується вимірювання величини опору між опорою та потенціалів землі.
2. Вимірювальний контроль величини струму витоку, який протікає через стрижень арматури.

Виконаємо аналіз існуючих методи визначення корозії залізобетонних опор [11].

1.2 Електрохімічний метод моніторингу корозії залізобетонних опор

На ступінь електричної корозії впливає такі фактори, як співвідношення потенціалу та номіналу опору, а також концентрація іонів у ґрунті, що можуть викликати корозію металевої арматури опори.

Для підвищення достовірності ідентифікації ступеня електричної корозії застосовують інтегруючі сенсори. Як сенсор застосовується електрохімічний осередок сталі в бетоні, що заглиблюється до ґрунту, цей осередок пропускає електричний струм [12].

Перед виконанням вимірювання сенсор зважують з достатньо високою точністю до 0,01 г. Потім, через декілька місяців здійснюється проведення повторного зважування. За результатами визначається винесення металу в г/дм за одну добу для кожного сенсора. Діаграми електричної корозії визначаються зі застосуванням закону Фарадея.

На контактних мережах для визначення корозії залізобетонних опор контактної мережі використовуються пристрої типу ПК-1, ПК-1М і ПК-2, технічні характеристики яких наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики і параметри пристроїв типу ПК-1, ПК-1М, ПК-2

Вимірювальне значення потенціал землі	від –250 до +250 В
Вимірювальне значення опору контактної мережі	від 1 Ом до 1 МОм
Величина напруги пробою захисних пристроїв	від 600 до 1600 В
Вага пристрою	не більш 1,5 кг.
Габаритні розміри	не більш 180 x 160 x 65 мм
Електричне живлення пристрою	
Зарядження від мережі змінного струму	(220 ± 22) В; (50 ± 1) Гц;
Тривалість безперебійної роботи від акумулятору	не менш 8 годин

Головним недоліком електрохімічного методу моніторингу корозії залізобетонних опор є складний доступ до арматури, оскільки її розташовано в бетоні, тому реалізація цього методу є доволі ускладненою складною.

1.3 Акустичний метод моніторингу корозії

Вібраційний метод базується на вимірюванні амплітудного значення загасаючих коливань залізобетонної опори від ступеня корозії арматури. Схему здійснення вібраційного вимірювального контролю на об'єкті дослідження наведено на рис. 1.3.

Діапазон вимірювання амплітудного значення коливань зі застосуванням пристрою типу АДО-2М складає від 0,01 до 2 мм. Принцип роботи пристрою типу АДО-2М базується на залежності рівня корозії від швидкості згасання акустичної хвилі (див. рис. 1.4). До недоліків методу можна віднести вплив зміни зовнішніх дестабілізуючих факторів на результат вимірювання. До таких

факторів можна віднести спосіб встановлення опори, параметри ґрунту, пористість бетону тощо.

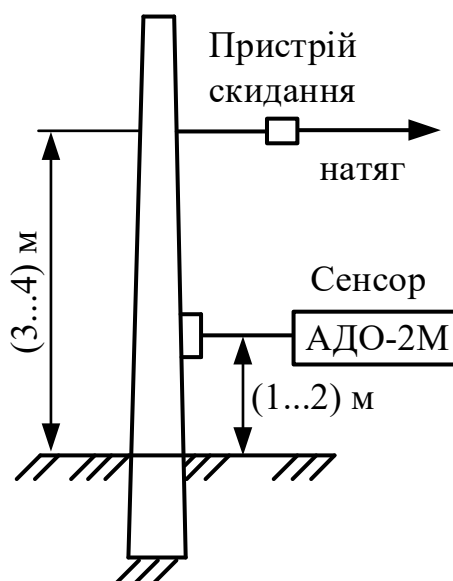


Рисунок 1.3 – Схему здійснення вібраційного вимірювального контролю на об'єкті дослідження

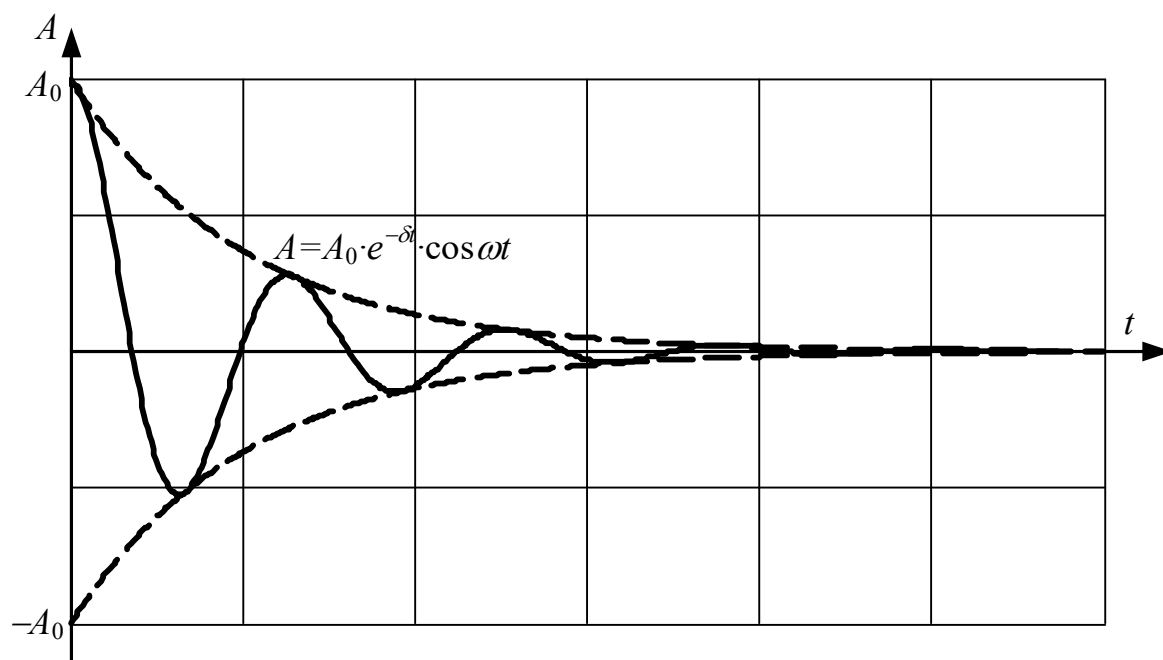


Рисунок 1.4 – Зміна величини амплітуди вібраційних коливань опори, якщо вона не має дефектів

Параметри бетону вимірюються за допомогою ультразвукових дефектоскопів типу УКХ-1М та УК-12П. Для надійного контакту між вимірювальним перетворювачем і бетоном використовується технічний вазелін або солідол. За допомогою цього методу визначається глибини розповсюдження тріщини в бетоні, а також розміри цієї тріщини та неуцільнена ділянка бетону.

Ультразвукові пристрої типу УК-1401 та УК-14ПМ застосовуються для вимірювального контролю часу та швидкості розповсюдження поздовжніх ультразвукових хвиль, які мають місце в твердому матеріалі під час впливу ультразвуку з фіксованою базою для визначення цілісності та міцності бетону опор. База впливу ультразвукових коливань становить 150 мм, діапазон вимірювання значення часу складає від 15 до 70 мкс з дискретністю 0,1 мкс, діапазон вимірювального контролю швидкості ультразвуку від 2150 до 9900 м/с. Зазвичай здійснюється два вимірювання поперек і вздовж тіла опори.

Моніторинг підземної та надземної частини опору здійснюється зі застосуванням низькочастотного ультразвукового дефектоскопу типу А1220, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд ультразвукового пристрою визначення дефектів типу А1220

Пристрій типу A1220 має в своєму складі електронний блок з цифровим дисплеєм, клавіатуру, а також 24-елементний (6x4) антенний пристрій у вигляді матриці. Конструкція антенного пристрою забезпечує здійснення вимірювального контролю без контакту з рідиною, з точковим сухим контактом. Елементи антенного пристрою є пружними, вони мають можливість здійснювати вимірювання на шорстких і криволінійних поверхнях, що досліджуються.

До недоліків акустичного методу можна віднести те, що визначення корозії здійснюється непрямим способом, за часом проходження ультразвуку через бетон, хвилі ультразвукових коливань якого загасають. Також ще одним істотним недоліком є доволі високі вимоги до здійснення вимірювального контролю, а також складність методики підготовки проби.

1.4 Аналіз спектральних методів моніторингу корозії

Спектральний метод аналізу базується на визначенні спектрів оптичного випромінювання, а також поглинання цього випромінювання молекулами або атомами речовини, що досліджується [13]. Зазначені спектри характеризують властивості електронних оболонок молекул і атомів, коливань ядра молекул, а також їх обертанням. Під впливом структури та маси атомного ядра змінюється положення енергетичних рівнів. Характеристики спектрів залежать від взаємодії молекул і атомів, а також від зміни характеристик і параметрів навколишнього середовища. Отже, спектральний аналіз використовує довжини хвиль випромінювання від рентгенівського до мікрорадіоволнового діапазону. До спектрального аналізу не включають мас-спектроскопічні способи, які застосовують електромагнітні коливання.

Існує доволі велика кількість спектральних методів, проте у випускній кваліфікаційній роботі більш детально розглянуто методи емісійної лазерно-іскрової спектроскопії, а також комбінаційного розсіювання оптичного

випромінювання. Зі застосуванням цих методів можна розробити та створити портативні електронні пристрої зі застосуванням оптико-волоконної лінії зв'язку.

Метод емісійної лазерно-іскрової спектроскопії уперше запропонований до застосування після винаходу першого лазера в 1960 році, проте під час перших спроб не досягнуто позитивного результату. У 80-х роках минулого сторіччя зазначений метод зайшов нового розвитку з широким розповсюдженням лазерів та детекторів зі зарядовим зв'язком [14].

Метод емісійної лазерно-іскрової спектроскопії активно розвивався протягом останніх двох десятиліть. Зазначений метод є різновидом атомної емісійної спектроскопії. Як джерело оптичного випромінювання застосовується імпульсний лазер, який має велику вихідну потужність. Фокусування лазера здійснюється поверхні, що досліджується, випаровуючи зразок, під час цього формується плазма з високою температурою. Оптичне випромінювання від плазми передається до спектрометра. Вимірювальну інформацію щодо складу та концентрації зразка дослідження одержується зі застосуванням аналізу спектральної емісії плазми. Базові елементи пристрою, що реалізує метод емісійної лазерно-іскрової спектроскопії, наведено на рис. 1.6.

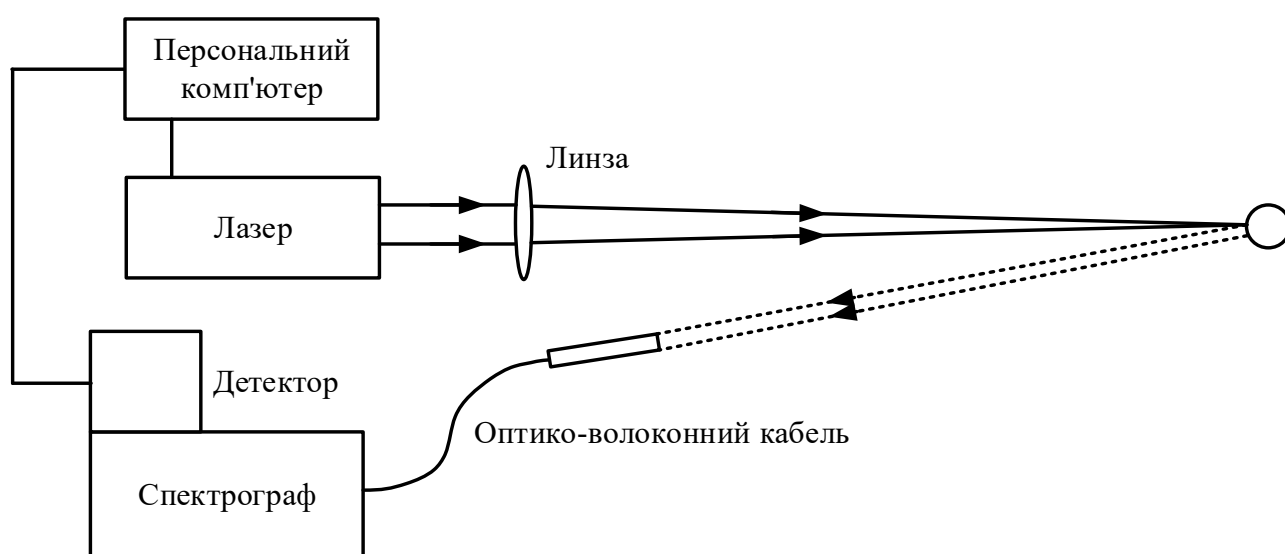


Рисунок 1.6 – Структурна схема електронного пристрою на базі методу емісійної лазерно-іскрової спектроскопії

Спектрометр розсіює випромінювання, що індуковане лазером плазми, для одержання спектру за інтенсивністю, що залежить від зміни довжини хвилі. Основні компоненти, що входять до складу пристрою багатоканальний оптико-волоконний кабель, а також спектрометр з пристроєм зарядового зв'язку.

Розглянуті пристрої можна застосовувати для здійснення аналізу рідин, газів, рідин, а також твердих речовин. Пристрій застосовується для дослідження сталі, геологічних зразків, скла, цінних металів, а також фармацевтичної продукції. Метод емісійної лазерно-іскрової спектроскопії можна застосовувати для виконання досліджень будівельних матеріалів тому, що за його допомогою можна виявити Na, Li, K, C, Cl, S. Визначення концентрацій цих елементів необхідно для оцінки довговічності опор [15].

До переваги методу емісійної лазерно-іскрової спектроскопії можна віднести можливість здійснення двовимірного сканування зразка. Зі спільним застосуванням пристрою сканування, що є дзеркальним сканером або рухомих столом, поверхневий розподіл компонентів можна визначити просторово, отже, є можливість здійснювати облік неоднорідності матеріалу.

1.5 Висновки

Виконано дослідження об'єкт моніторингу, умови під час дії яких він експлуатується та типи дефектів, до виникнення яких схильні залізобетонні опори. Визначено, що найбільш небезпечним видом дефекту є електрична корозія, наявність якої істотно зменшує міцність опори під час експлуатації. Виконано аналіз методів моніторингу корозійного стану залізобетонних опор, що дозволило визначити їх базові недоліки. Зі застосуванням спектральних методів аналізу можна розв'язати цю задачу тому, що висновок щодо стану опори не можна формулювати за непрямыми ознаками. Прямі методи моніторингу дозволяють визначити кількість заліза, що вийшла з арматури стрижня до поверхні залізобетонної опори.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ МОНІТОРИНГУ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1 Пристрій відбору проби з внутрішньої поверхні залізобетонної опори

Як пристрій для відбору проби для моніторингу корозійного стану внутрішньої поверхні залізобетонних опор можна застосувати відео ендоскоп, який має в своєму складі бормашину, яка здійснює відбирання дрібної дисперсної фракції з поверхні залізобетонної конструкції опори контактної мережі.

Структурну схему пристрою відбору проби наведено на рис. 2.1, який складається з тонкої трубки 6, що занурюють до внутрішньої поверхні залізобетонної опори контактної мережі для відбору проби, яка має вигляд дрібного дисперсного порошку.

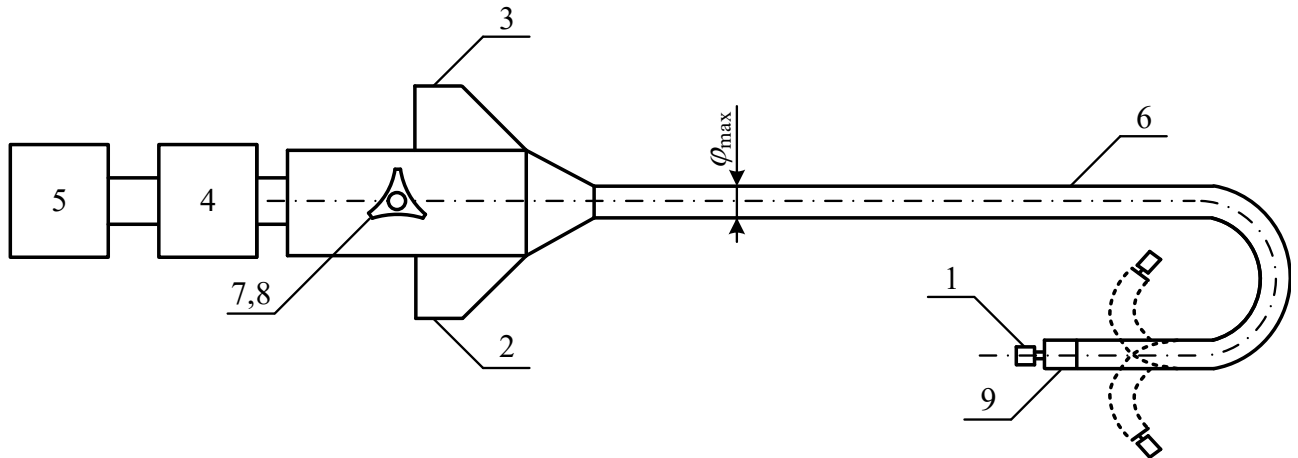


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою відбору проби з відео ендоскопом

Пристрій має в своєму складі систему відеозображення, що отримано з відео ендоскопа 2, а також інструментальний канал введення 3, до якого вводиться вісь бормашини. Пристрій має систему керування, що здійснюється вгору або вниз 7 та вліво або вправо 8, зі застосуванням цих керуючих впливів

задається напрямом руху головки 9. До складу пристрою входить вентилятор 4, а також резервуар зберігання відібраної проби з внутрішньої поверхні залізобетонної опори 5. На поверхні корпусу пристрою розміщено елементи, що здійснюють керування роботою вентилятора в ручному режимі, також керування здійснюється роботою бормащини та камери зі світловодами.

Розташування елементів на дистальній головці пристрою відбору проби наведено на рис. 2.2, що має оптичну частину 1, що передає зображення, світловоди 2, інструментальний отвір 3, отвір для введення повітря 4, зовнішню ізоляцію 5.

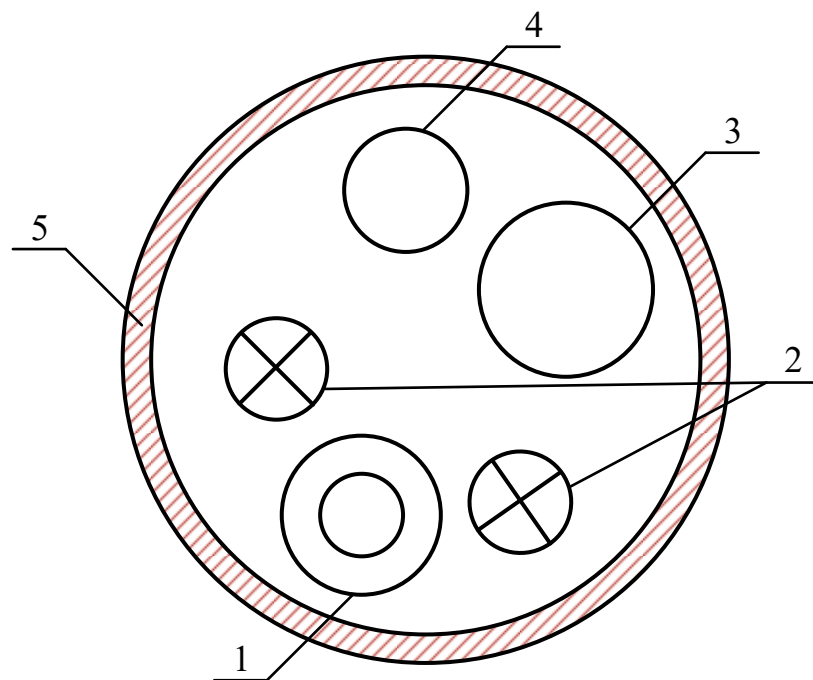


Рисунок 2.2 – Розташування елементів на дистальній головці пристрою відбору проби

До інструментального отвору підводиться вісь бормащини, яка має шліфувальний наконечник. Цей наконечник затирає верхній шар залізобетону, на якому має місце корозії. Через отвір введення здійснюється збір проби, яка має вигляд дрібного дисперсного порошку. Порошок переноситься за допомогою потоку повітря, який втягується.

Схему розміщення пристрою відбору дрібнодисперсної проби на внутрішній поверхні залізобетонної опори контактної мережі наведено на рис. 2.3. Частина, що занурюється, розташовують на внутрішній поверхні опори через технологічний отвір. Відбір проби здійснюється у відповідності з алгоритмом, блок-схему якого наведено на рис. 2.4.

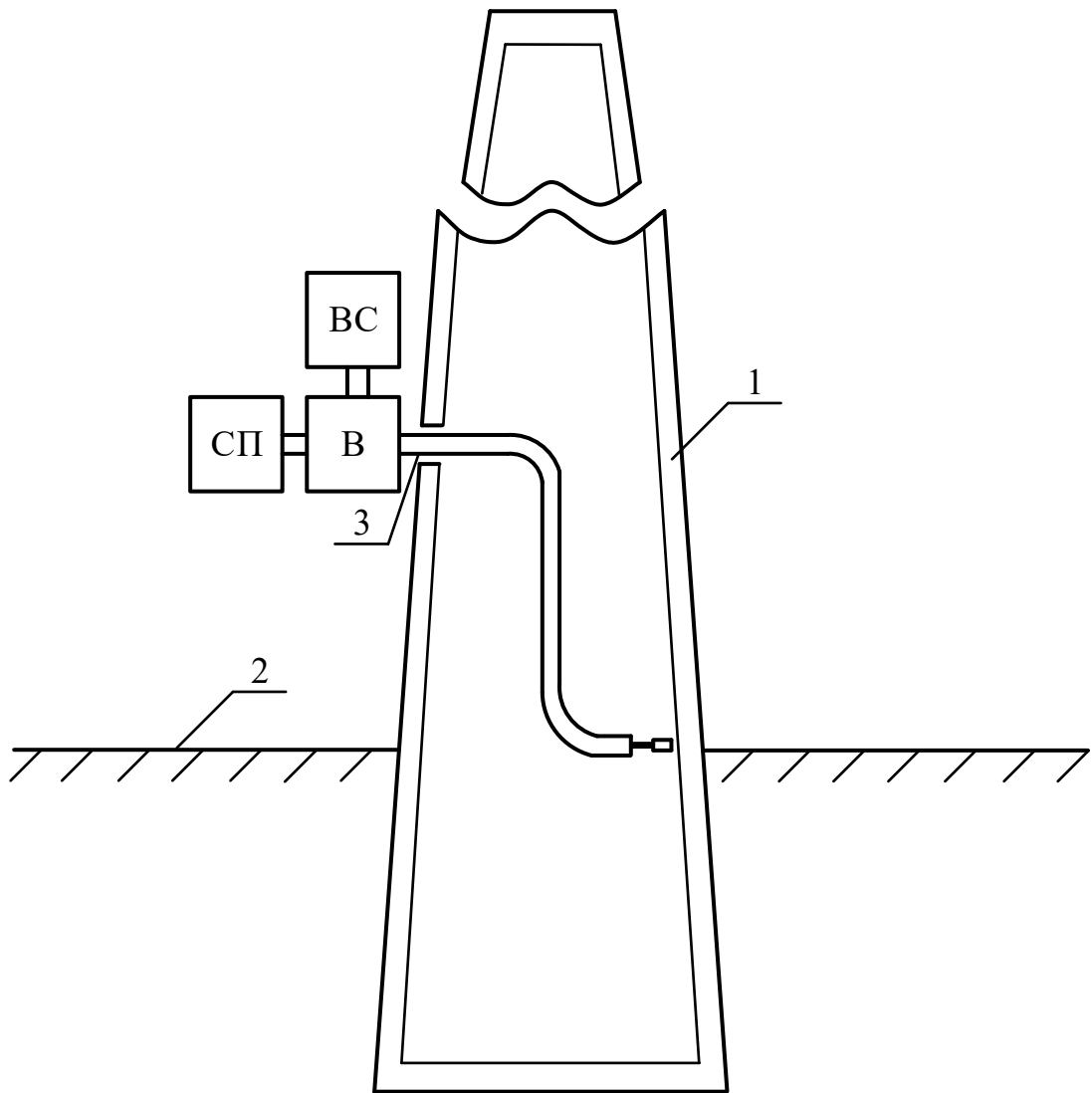


Рисунок 2.3 – Схему розміщення пристрою відбору дрібнодисперсної проби на внутрішній поверхні залізобетонної опори

Після розміщення пристрою на внутрішній поверхні залізобетонної опори здійснюється огляд цієї поверхні. Виконується ретельний огляд внутрішньої поверхні, яку розташовано на ділянці метра нижче та вище ґрунту. Якщо виявлено корозію, то за допомогою рукояток, що керують трубкою,

здійснюється наведення головки на середину області з ознаками корозії. Включають бормашину та вентилятор для відбору проби для дослідження.

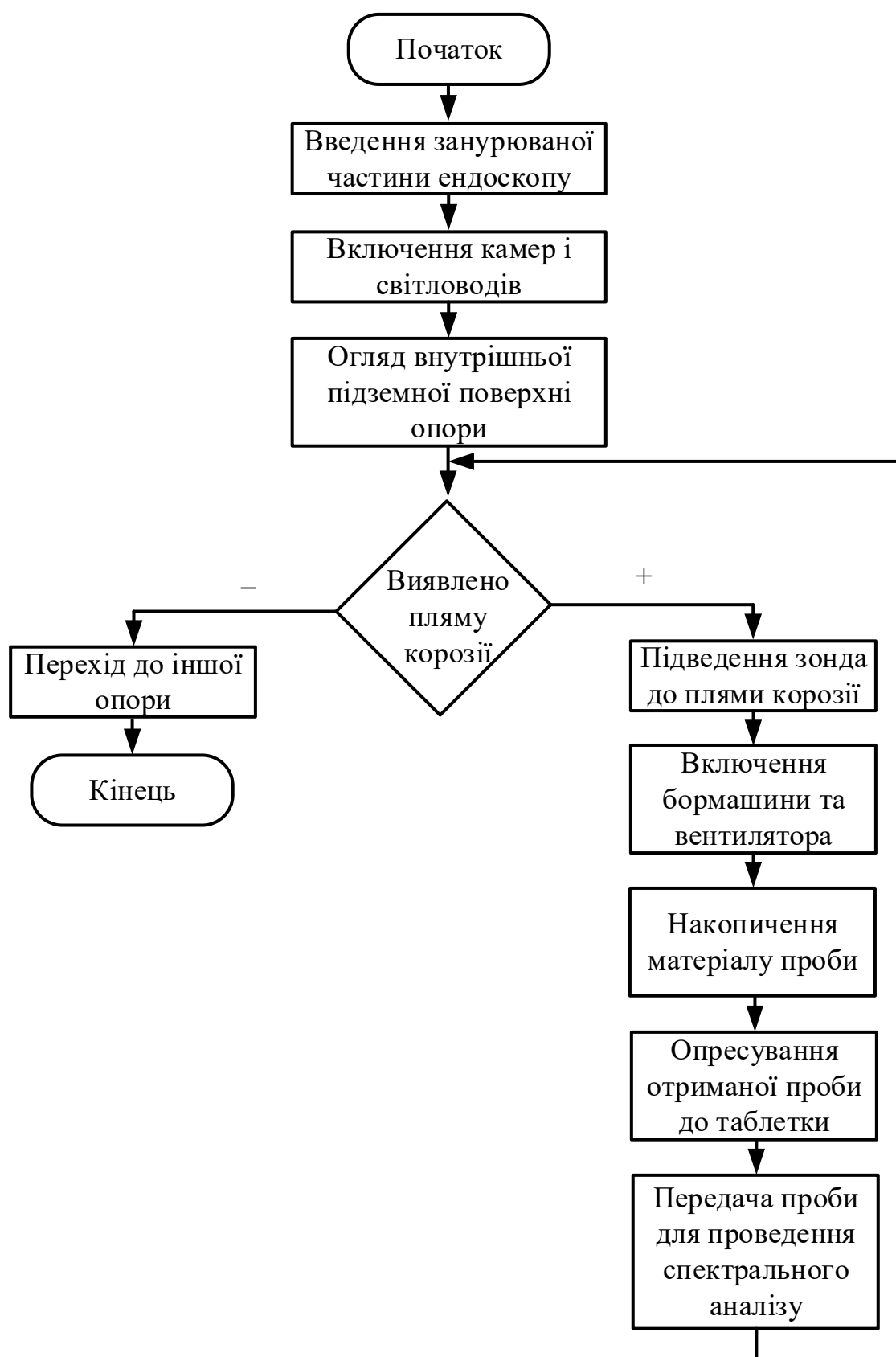


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму методики відбору проби

Отримані зразки проби запресовують до таблетки зі застосуванням ручного преса. Ці таблетки піддають спектральному аналізу. Кількість порошку проби, що необхідно для здійснення аналізу не більше 2 г. Порошок запресовують як таблетки з діаметром 10 мм для здійснення спектрометричного аналізу.

Для вибору пристрою для відбору проб були розглянуто ендоскопи провідних виробників. Технічні характеристики і параметри ендоскопів наведено в табл. 2.1. До основних критерії їх відбору можна віднести діаметр інструментального каналу, зовнішній діаметр і довжину частини, що занурюється.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики і параметри ендоскопів

Параметр	Aohua VME-90	Pentax FC- 38LV	Olympus GIF-HQ190	Olympus CF- HQ190L/I
Діаметр інструментального каналу, мм	2,0	3,8	2,8	3,7
Зовнішній діаметр, мм	7,9	13,4	9,9	13,2
Загальна довжина, мм	1500	1700	1350	2005
Кути згинання робочої частини, град	Вправо 100 Вліво 100 Вверх 210 Вниз 90	Вправо 160 Вліво 160 Вверх 180 Вниз 180	Вправо 100 Вліво 100 Вверх 210 Вниз 90	Вправо 160 Вліво 160 Вверх 180 Вниз 180
Кут огляду, град	140	120	140	160-170
Відео	Aohua VME-2800	Defina EPK- 3000	Olympus CV-190	Olympus CV-190
Країна виробник	Китай	Японія	Японія	Японія

Найбільші оптимальні характеристики має Olympus CF-HQ190L/I, яка використовуємо під час подальшої розробки пристрою моніторингу.

2.2 Розробка структурної схеми електронного пристрою моніторингу корозійного стану

Структурну схему електронного пристрою моніторингу корозійного стану наведено на рис. 2.5, де позначено: МОЗ – мобільний оптичний зонд, БЖ – блок живлення, Л – лазер, що формує оптичний імпульс з великою потужністю для створення плазми, С – спектрометр, що має в своєму складі детектор зі зарядовим зв'язком, В – відеосистема, БРУ – блок радіокерування, ВОК – волоконно-оптичний кабель, І – інтерфейс, ПК – персональний комп'ютер.

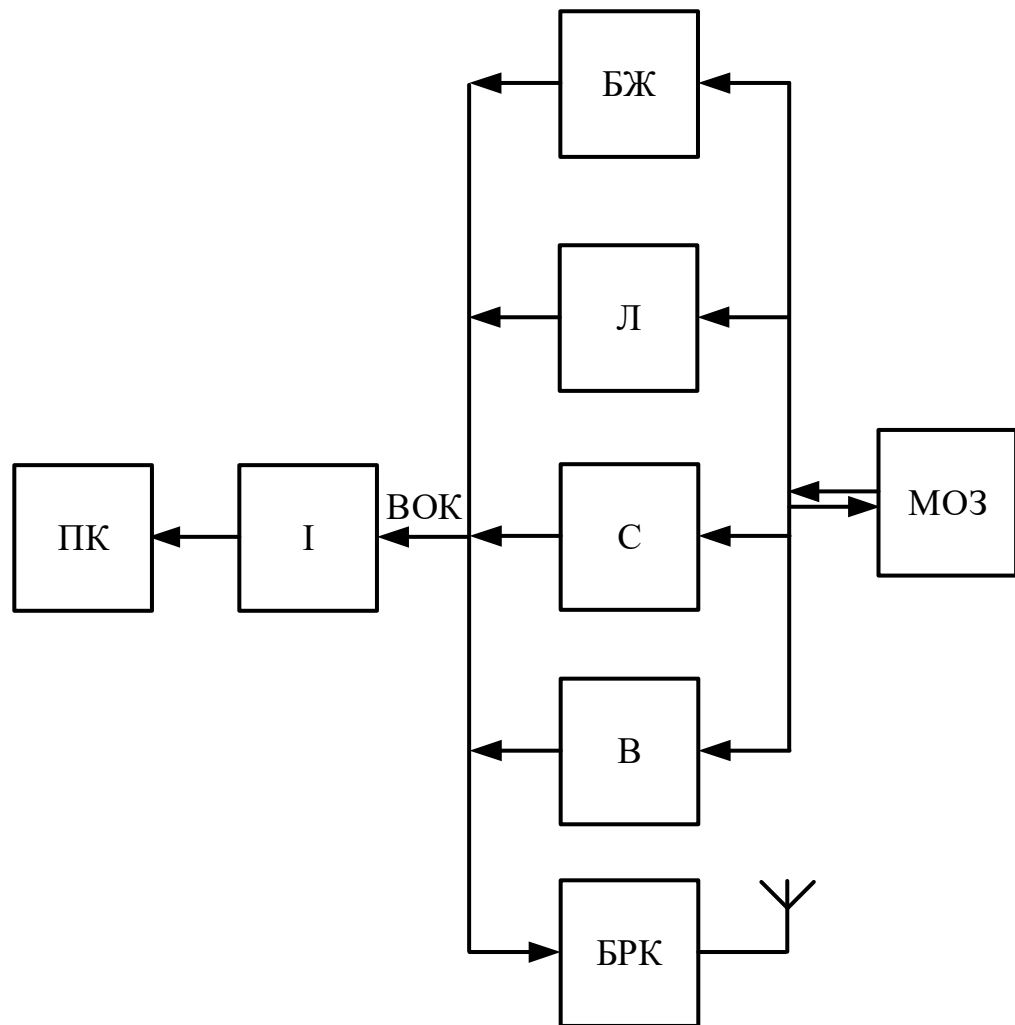


Рисунок 2.5 – Структурна схема електронного пристрою моніторингу корозійного стану

Блоки електронного пристрою підключаються до персонального комп'ютера, на якому інстальовано програмну компоненту, що входить до комплексу спектрометра. Запуск вимірювання здійснюється від програми спектрометра. Програмна компонента спектрометра у відповідності з протоколом здійснює перетворення масивів спектрів до кількісного значення корозійного стану залізобетонних опор контактної мережі.

2.3 Вибір і обґрунтування оптичних компонентів електронного пристрою моніторингу

Волоконно-оптичний кабель має в своєму складі жили зі скловолокна, що розташовано всередині корпусу ізоляції. Ці жили призначено для організації високопродуктивних мереж передачі інформаційних даних, а також забезпечення телекомунікацій на доволі великі відстані [16].

За оптико-волоконними кабелями передаються інформаційні сигнали у вигляді світлових імпульсів. Ці імпульси формуються світлодіодами або невеликими лазерами. Кабель має в своєму складі одну або декількох скляних ниток, кожна з яких є ненабагато більшою ніж людське волосся. Центр зазначених ниток називається ядром, що забезпечує шлях оптичного випромінювання. Осердя заливається шаром скла, що є оболонкою, воно виконує функцію відбивання оптичного випромінювання всередину для зменшення втрати інформаційної складової сигналу та дозволяє оптичному випромінюванню проходити кабель.

Розроблено та застосовується два базових типи оптико-волоконних кабелів: однорежимні та багаторежимні. У однорежимному оптичному волокні застосовується доволі тонкі скляні нитки та лазер формування оптичного випромінювання, а в багаторежимних волокнах застосовуються світловипромінюючі діоди.

У одномодових волоконно-оптичних мережах зазвичай застосовуються методи мультиплексування з розподілом за довжиною хвилі (WDM) для підвищення обсягу інформаційного трафіку, що передається через мережу. WDM дозволяє здійснювати мультиплексування, а потім демультиплексування оптичного випромінювання на різних довжинах хвиль, отже має місце ефективна передача декількох інформаційних потоків зі застосуванням одного оптичного імпульсу.

Фізичні процеси, що мають місце в оптичному волокні, базуються на повному внутрішнього віддзеркаленні.

Значення показника заломлення осердя змінюється в діапазоні від 1,4 до 1,5. Величина показник заломлення ядра повинна бути більшою за значення показника заломлення оптичної оболонки. Різниця між значеннями цих показників складає приблизно одиниць порядок.

$$n = \frac{c}{v},$$

де c – швидкість світла в вакуумі, м/с;

v – швидкість світла в середовищі, м/с;

n – коефіцієнт заломлення.

Зі застосуванням закону Снеліуса можна отримати співвідношення між коефіцієнтом заломлення та величиною кута падіння оптичного випромінювання:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2,$$

де θ_1 та θ_2 – кути заломлення першого та другого матеріалів;

n_1 та n_2 – коефіцієнти заломлення першого та другого матеріалів.

З аналізу цього рівняння можна зробити висновок, що величина кута заломлення θ_2 залежить від співвідношення значень коефіцієнтів n_1/n_2 , а також

величини кута падіння світла θ_1 .

Конструкцію оптичного волокна, яка забезпечує повне внутрішнє віддзеркалення, наведено на рис. 2.6. Таке виконання оптичного волокна може концентрувати оптичне випромінювання в одному місці та здійснювати його переміщення до іншого. Отже, застосування оптичного волокна є оптимальним рішенням для оптичного випромінювання в спектрометрі.

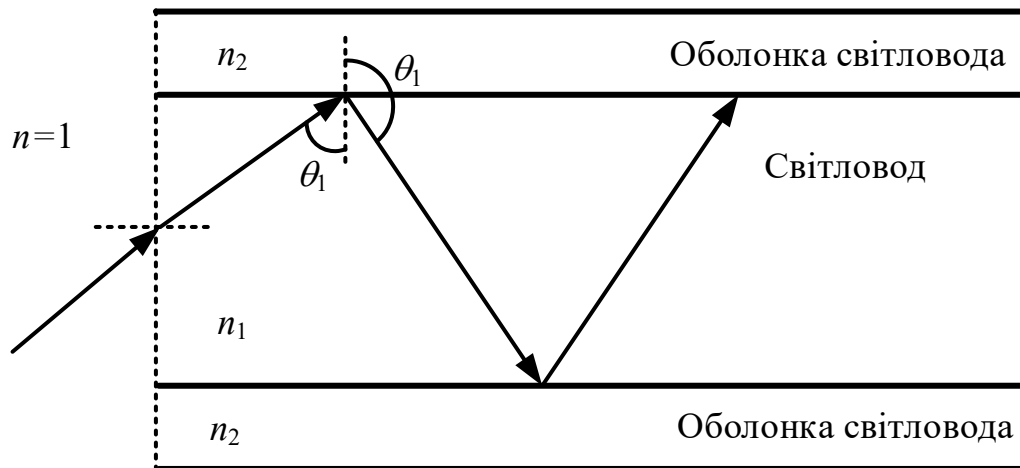


Рисунок 2.6 – Конструкцію оптичного волокна, яка забезпечує повне внутрішнє віддзеркалення

Через явище інтерференції на початку оптико-волоконних ліній оптичні хвилі здійснюють гасіння одна іншу. Оптичні хвилі, що розповсюджуються в волокні на значні відстані, мають назву просторовим оптичним випромінюванням. Оптична мода – це траєкторія розповсюдження дозволених хвиль оптичного випромінювання. Це поняття моди є одним з базових для волоконно-оптичної лінії зв'язку.

Одними з важливих характеристик оптичного волокна є згасання інтенсивності оптичного випромінювання та дисперсія.

Згасання – зменшення інтенсивності оптичного випромінювання під час його розповсюдження оптичним волокном. Загасання відбувається завдяки розсіюванню та поглинанню. Розрахунок значення коефіцієнт згасання здійснюється за доволі складною залежністю, як функція від довжини хвилі.

Діапазон довжин хвиль, в якому має місце низьке згасання, має назву вікном прозорості оптичного волокна. Цих вікон може бути декілька, в межах цих вікон зазвичай передаються інформаційні сигнали.

У приймача оптичного випромінювання є деякий поріг чутливості, тобто сигнал повинен мати мінімальне значення потужності для коректного прийому інформаційних повідомлень. Отже, згасання є одним з основних обмежуючих факторів для передачі інформаційних повідомлення на дальні відстані за оптичним волокном.

Дисперсія визначається в залежності від фазової швидкості розповсюдження оптичного випромінювання та від довжини хвилі цього випромінювання.

Геометричні параметри є базовими для визначення характеристик оптичного волокна, ці параметри прийнято визначати як еліптичність та/або неконцентричність.

Еліптичність є різницею між максимальним і мінімальним діаметрами осердя, що приведено до номінального значення радіус. Цей показник виражається у відсотках.

Неконцентричність осердя та оболонки визначається як відстань між центрами оболонки та осердя.

Геометричні параметри є стандартними для різних типів оптико-волоконних кабелів.

Числова апертура (NA) визначається як синус від значення максимального кута падіння оптичного випромінювання до торця волокна, за яким виконується умова повного внутрішнього віддзеркалення. Числова апертура визначає кількість мод, що розповсюджуються у волокні. Значення числової апертури визначає точність, з якою стикуються оптичні волокна між собою та іншими елементами оптико-волоконної мережі. Визначення числової апертури наведено на рис. 2.7. Вибір оптимального типу волокна є доволі складною задачею з настроювання спектрометра. Основними параметрами якого є поглинання оптичного випромінювання та діаметр хвилеводу.

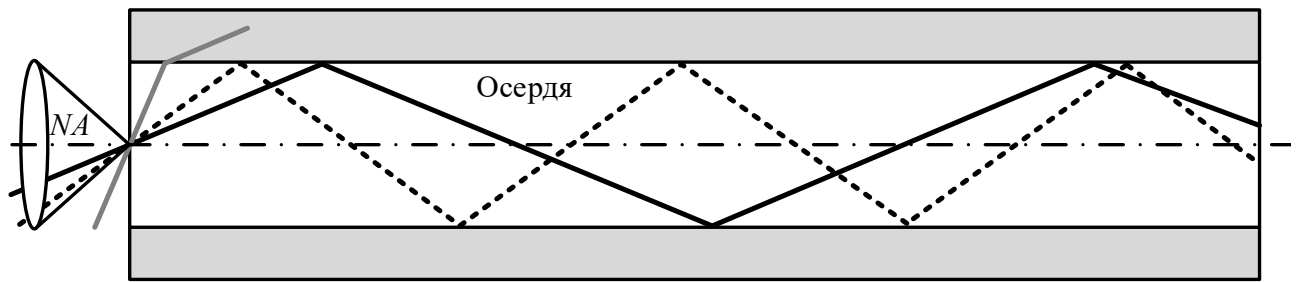


Рисунок 2.7 – Визначення числової апертури

Зміну інтенсивності сигналу, що залежить від діаметру оптичного волокна зі застосуванням циліндричної лінзи наведено на рис. 2.8.

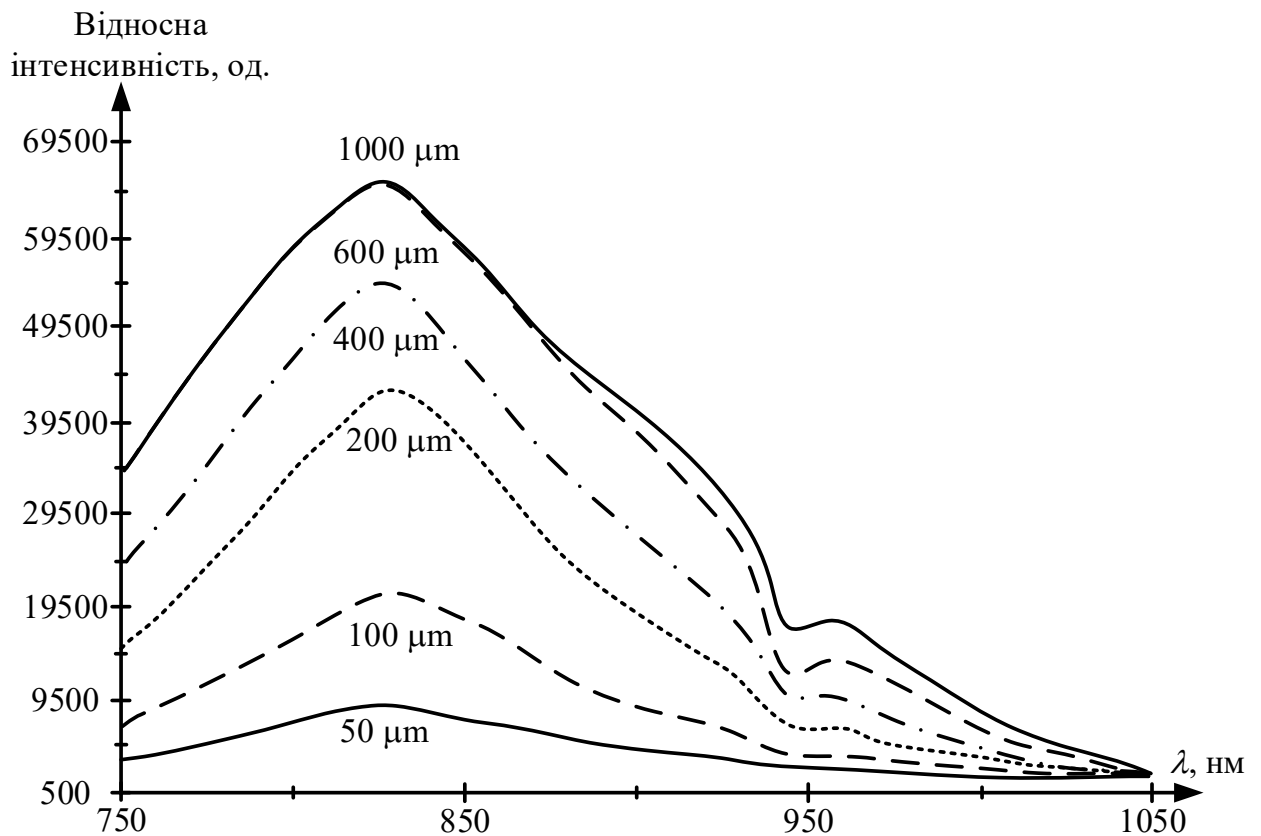


Рисунок 2.8 – Зміна інтенсивності сигналу, що залежить від діаметру оптичного волокна зі застосуванням циліндричної лінзи

Циліндрична лінза здійснює фокусування зображення від вхідної щілини за віссю, що є перпендикулярною до матриці, яке здійснюється без спотворень за цією віссю та паралельно матриці на площині детектора. Це дозволяє оптичному випромінюванню через волокно надходити до детектора, що

збільшує величину чутливості. З аналізу залежності, що наведено на рис. 2.8, можна зробити висновок щодо ефективності застосування оптичного волокна діаметром до 600 мкм.

Іншим істотним фактором є поглинання оптичного випромінювання волокном. Якщо випромінювання поглинається волокном, то втрати цієї інтенсивності не вимірюються спектрометром. Порівняльний аналіз стандартного оптичного волокна та волокна, що має малу концентрацію іонів ОН в інфрачервоній області спектра наведено на рис. 2.9.

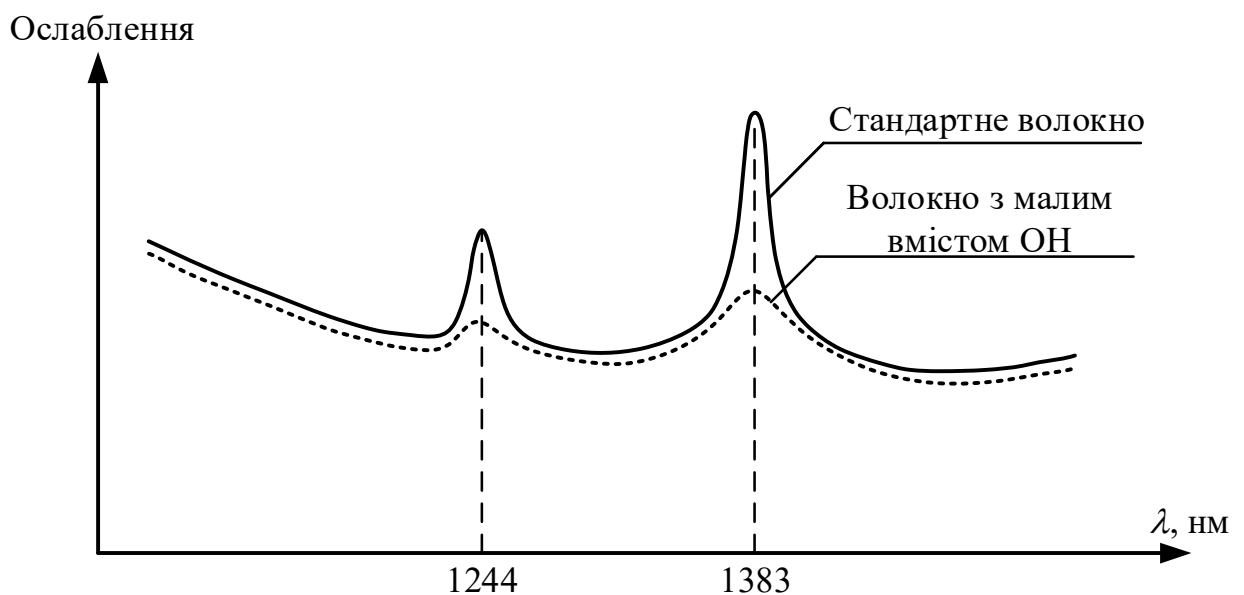


Рисунок 2.9 – Порівняльний аналіз стандартного оптичного волокна та волокна, що має малу концентрацію іонів ОН в інфрачервоній області спектра

У оптичній частині пристрою застосовується волокно типу P600-1-SR, що виготовляється компанією OceanOptics, яка має такі характеристики:

- числова апертура $NA = 0.22$;
- діаметр осердя (600 ± 10) мкм;
- робочий діапазон довжин хвиль від 200 до 1100 нм;
- мінімальний радіус вигинання 8 см;
- робочий радіус вигинання 16 см;
- довжина 1 м.

Зовнішній вигляд волоконно-оптичного кабелю типу P600-1-SR наведено на рис. 2.10.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд волоконно-оптичного кабелю типу P600-1-SR

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ МОНІТОРИНГУ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Як апаратна компонента в електронному пристрою переміщення вимірювальних перетворювачів застосовується платформа KeyeStudio 4WD Bluetooth Multi-Functional Car, зовнішній вигляд цієї платформи наведено на рис. 3.1.

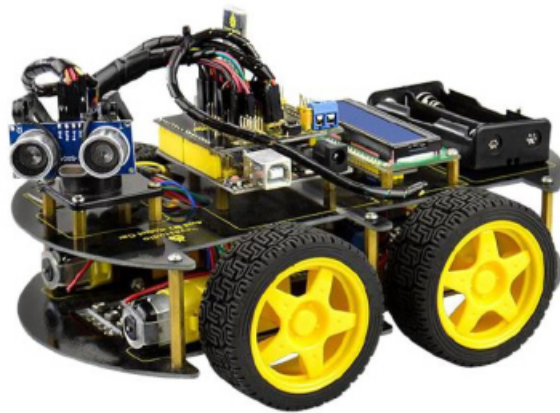


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд платформи
KeyeStudio 4WD Bluetooth Multi-Functional Car

Платформа має в своєму складі модулі, які забезпечують рух у прямому та зворотному напрямках. Привід застосовує чотири двигуни постійного струму, керування яких здійснюється пристроєм типу L298N Motor Driver.

Застосування пристрою L298N як контрольного модуля дозволяє забезпечити реверс руху, низьке значення теплотворної здатності, а також високу перешкодостійкість. Зазначений модуль застосовує компонент типу 78M05 для живлення приводу. Для уникнення виходу з ладу мікросхеми стабілізатора напруги застосовується зовнішнє джерело живлення 5 В, під час використання блоку живлення більше 12 В.

Зі застосуванням у фільтрі конденсатора, що має велике значення ємності, модуль дозволяє слідкувати за струмом для захисту діодів, а також

підвищення показників надійності пристрою. Схему підключення пристрою типу L298N до платформи наведено на рис. 3.2.

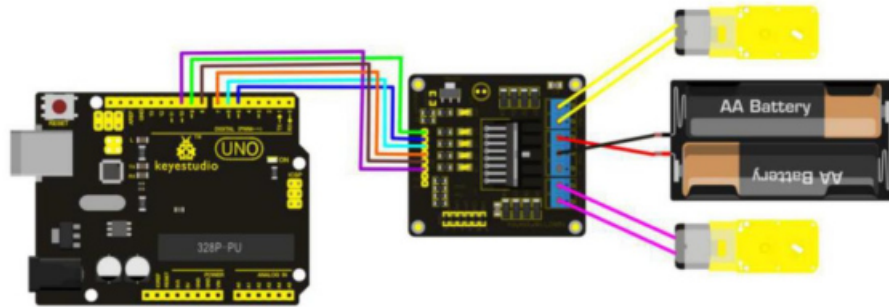


Рисунок 3.2 – Схему підключення пристрою типу L298N до платформи KeyeStudio 4WD Bluetooth Multi-Functional Car

Keyestudio 1602 I2C Module є рідкокристалічним дисплеєм, який сумісний з платформою Arduino. Зі зазначеним рідкокристалічним дисплеєм, що має інтерфейс I2C, можна застосувати тільки 2 рядки (I2C) для відображення інформаційних повідомлень. Цей рідкокристалічний дисплей не вимагає великих ресурсів. Його адреса встановлюється у такому форматі 0x27. Схему підключення рідкокристалічного дисплею типу Keyestudio 1602 I2C Module до платформи Arduino наведено на рис. 3.3.

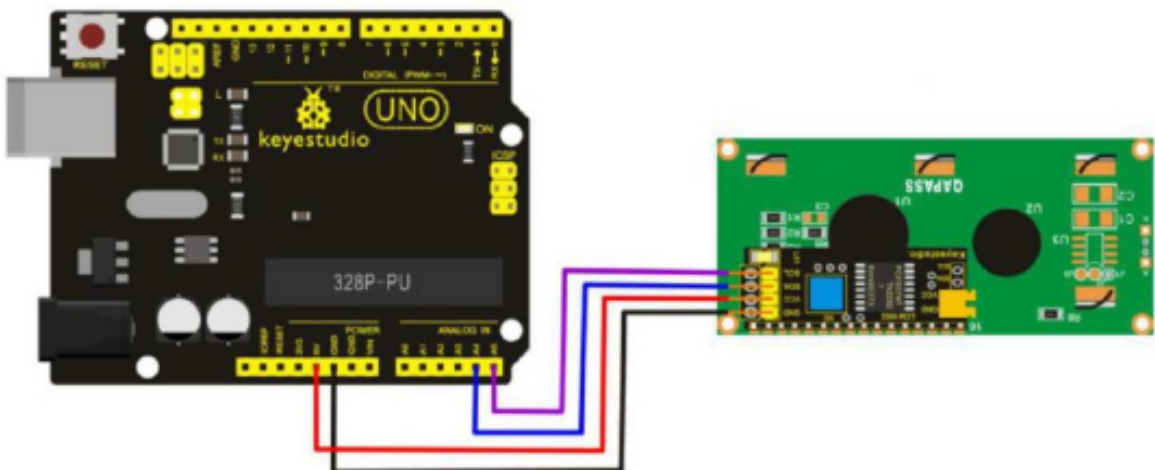


Рисунок 3.3 – Схема підключення рідкокристалічного дисплею типу Keyestudio 1602 I2C Module до платформи Arduino

Модуль 1602 має роз'ємом з чотирма лініями. SDA до аналогового виводу 4, SCL підключається до аналогового виводу 5; напруга живлення VCC до виведення + 5V та GND – до землі.

Можливість здійснення дистанційного керування мобільного пристроєм зі застосуванням пульта керування наведено на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Можливість здійснення дистанційного керування мобільного пристроєм зі застосуванням пульта керування

У електронному пристрої, що розробляється, Arduino застосовується як основний блок керування, що використовує Bluetooth для одержання сигналу від мобільного телефону та передає його Arduino. Мікроконтролер виконує аналіз сигнал та здійснює керує двигуном електронного пристрою для контролю руху. Також можна визначати стан і швидкість руху платформи, кут нахилу та відстань між платформою та перешкодою через KeyeStudio 1602 I2C Module.

Зі застосуванням Bluetooth для здійснення зв'язку з платформою можна організувати послідовну бездротову передачу інформаційних даних. Робоче значення частоти є найпоширенішим у науковому, промисловому та медичному обладнанні є діапазоні ISM – 2,4 ГГц. Модуль підтримує стандарт Bluetooth 2.1+EDR. У Bluetooth 2.1 часовий інтервал передачі сигналу від електронних пристроїв складає 0,5 с. Це дозволило істотно зменшити навантаження на модуль Bluetooth та заощадити час на процедуру очікування інформаційних даних для Bluetooth. Модуль Bluetooth має послідовний інтерфейс, що є доволі простим у застосуванні, а також спрощується загальний цикл розробки електронного пристрою. Зовнішній вигляд та принципову схему підключення модуля Bluetooth до платформи Arduino наведено на рис. 3.5 та 3.6.

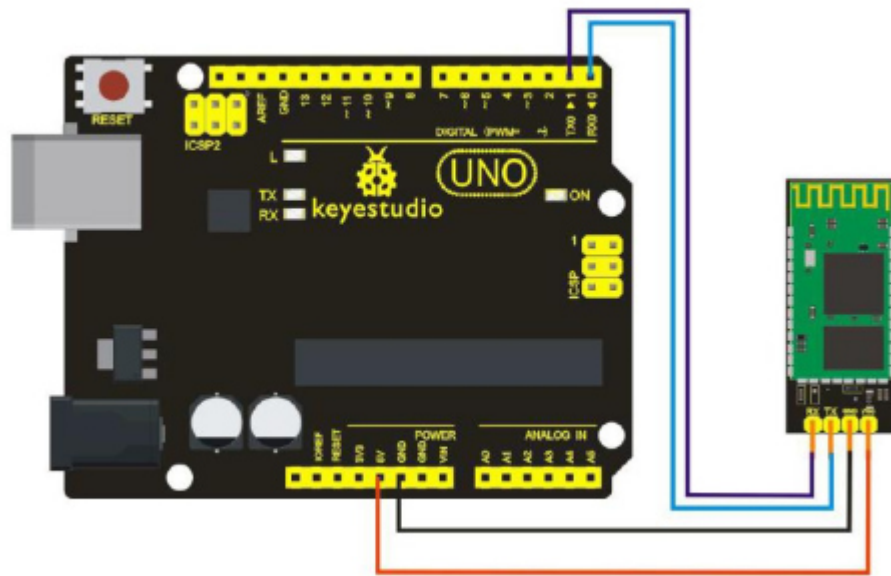


Рисунок 3.5 – Візуалізація схема підключення модуля Bluetooth до платформи Arduino

Блок-схему основного алгоритму методики здійснення спектрального аналізу внутрішній поверхні залізобетонних опор наведено на рис. 3.7 має п'ять складових модулів.

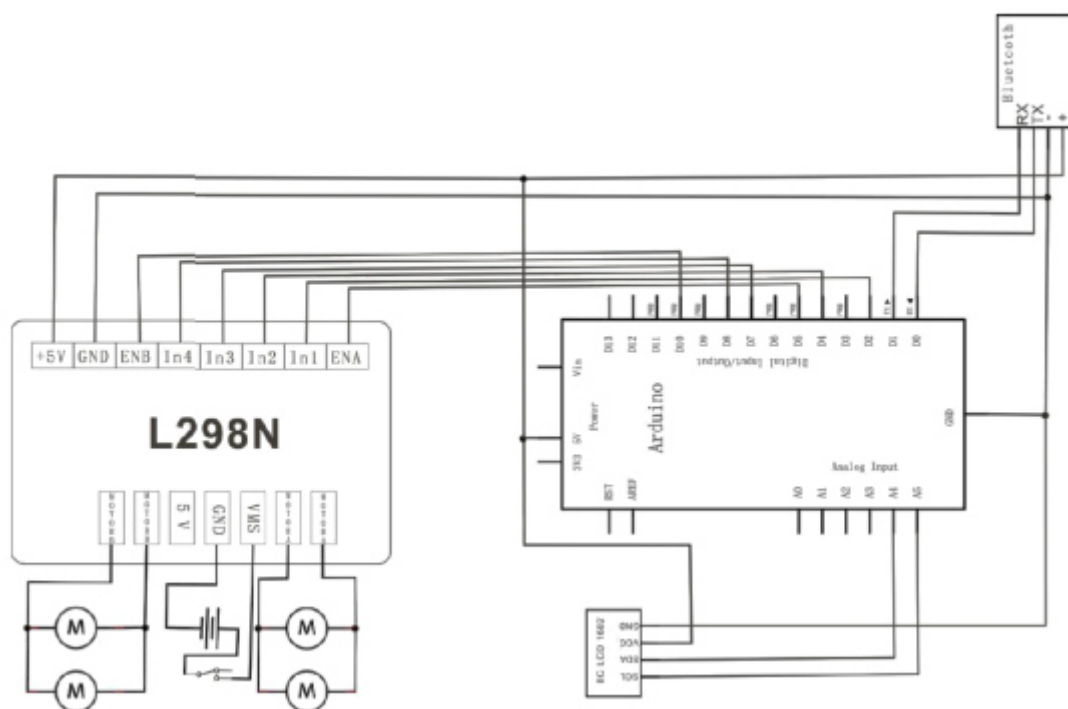


Рисунок 3.6 – Принципова схема підключення модуля Bluetooth до платформи Arduino

Блок-схема алгоритму має в своєму складі основну програму, яка складається з вибору режимів роботи, п'ять підпрограм, а також виведення результатів спектрального аналізу. Якщо вибрано «Режим 1», то здійснюється виконання підпрограми «Ручне керування». У цьому випадку виконується ручне керування платформою та фотографування внутрішній поверхні залізобетонної опори. Блок-схема алгоритму підпрограми «Ручне керування» керування платформою наведено на рис. 3.8.

На першому етапі здійснюється введення NO – початкової координати; NK – кінцевої координати; VD – значення швидкості руху платформи, а також KD – напрямку руху. Під час переміщення платформи на потрібну відстань оператор фотографує місця корозії. Зображення зберігаються та разом з координатами плями корозії передається до персонального комп'ютера.

Під час вибору «Режиму 2» здійснюється виконання підпрограми «Автоматичне сканування», блок-схема алгоритму якої наведено на рис. 3.9.

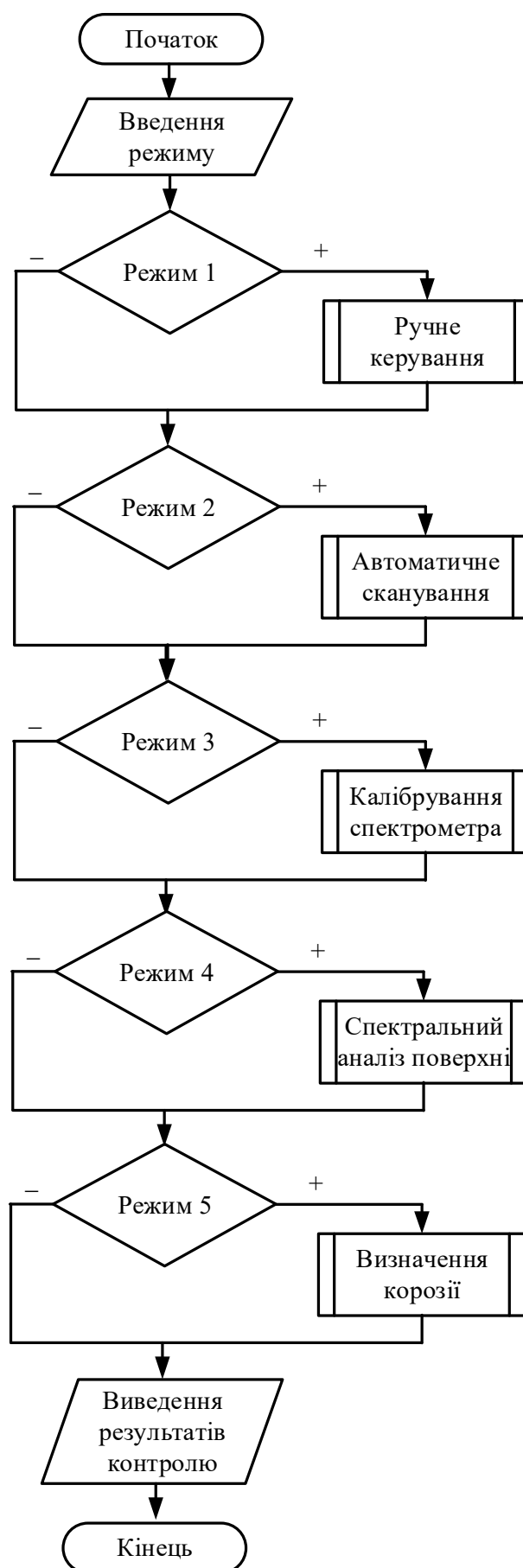


Рисунок 3.7 – Блок-схема алгоритму методики здійснення спектрального аналізу внутрішній поверхні залізобетонних опор

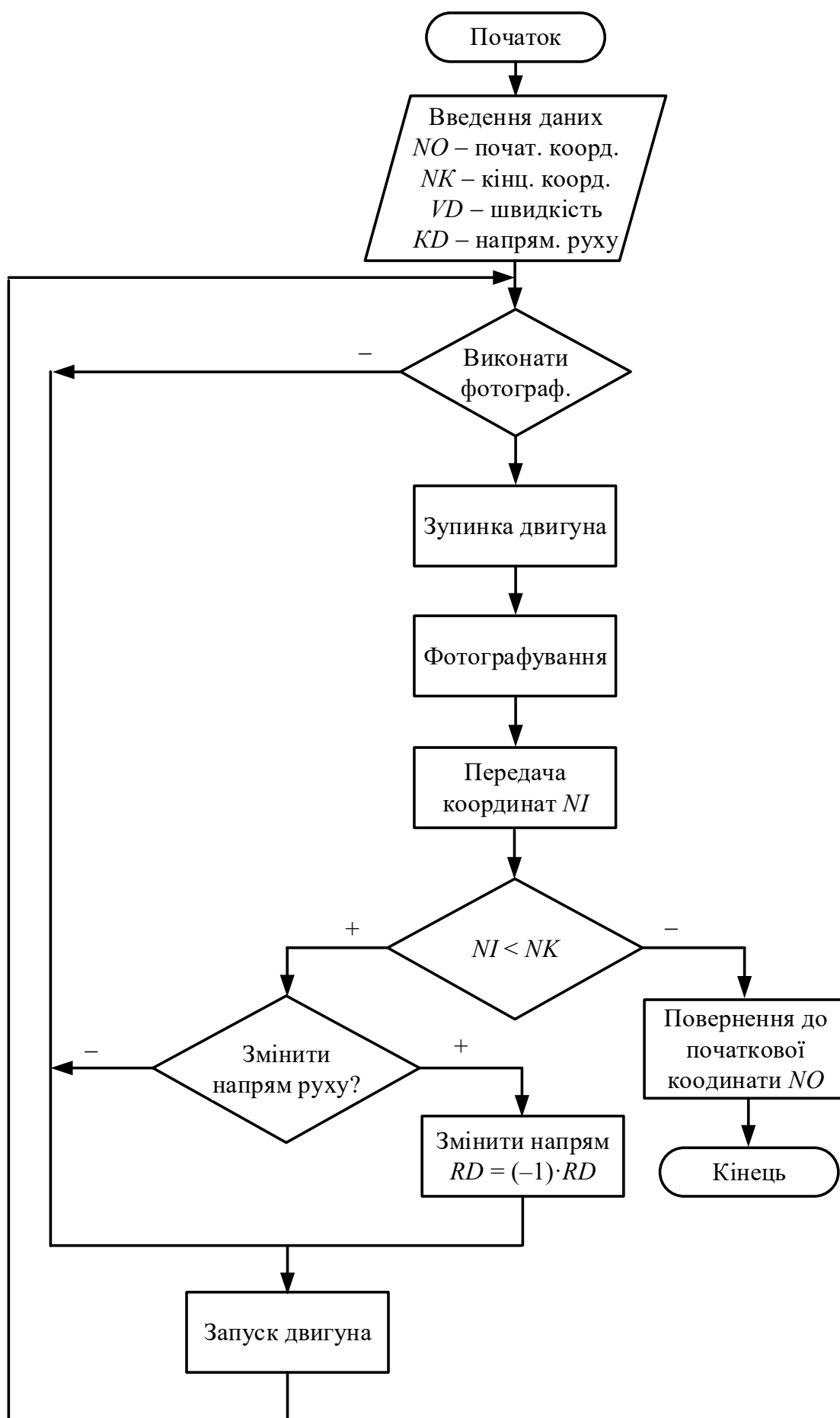


Рисунок 3.8 – Блок-схема алгоритму підпрограми «Ручне керування»

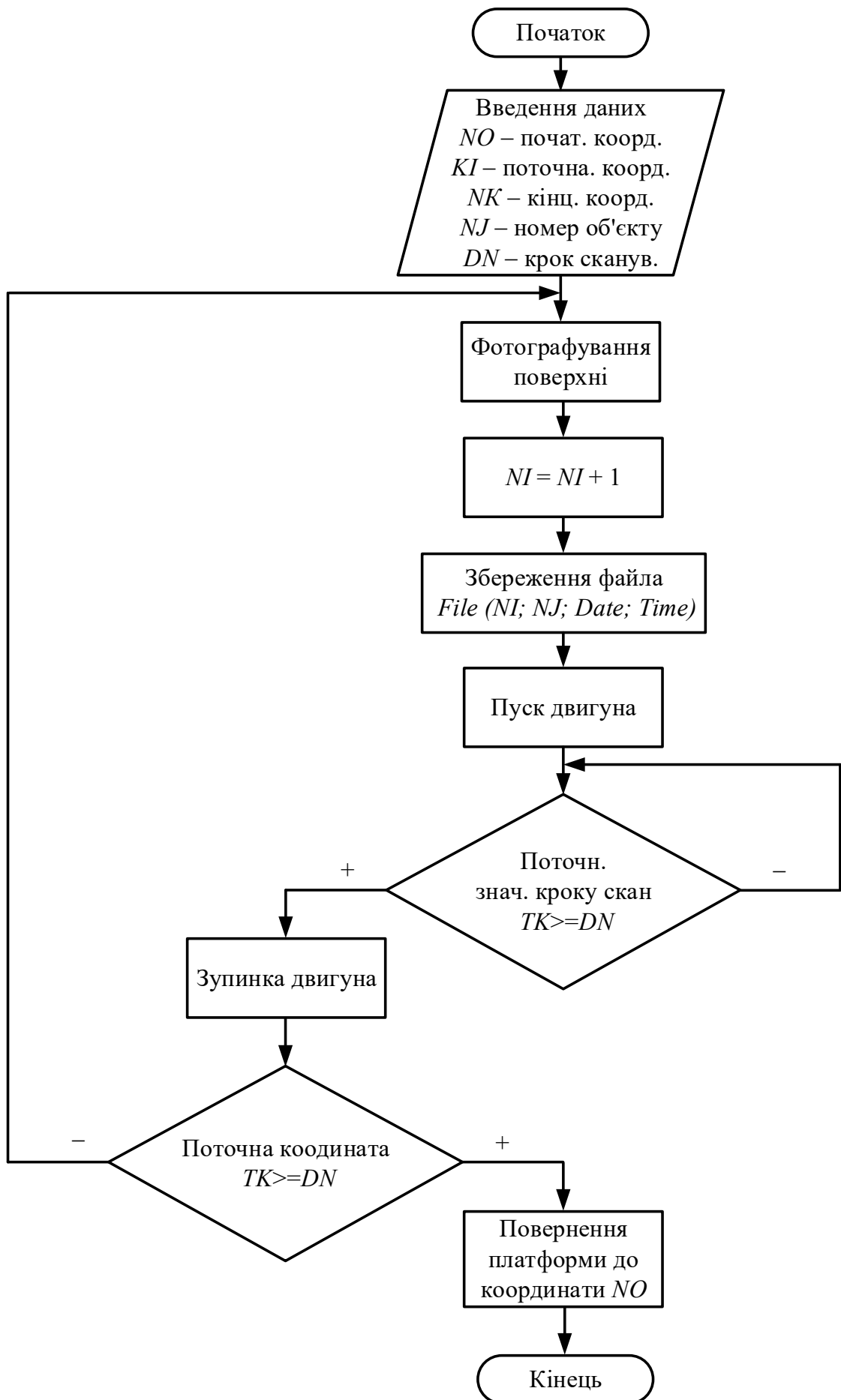


Рисунок 3.9 – Блок-схема підпрограми «Автоматичне сканування»

Під час вибору автоматичного сканування вводяться початкові дані: NO – початкове та NK – кінцеве значення координати; DN – крок сканування. Під час переміщення на визначену відстань платформа безперервно фотографує внутрішню поверхню залізобетону бетону для отримання повної картини поверхні опори. Кожному файлу фотографії має ім'я, в якому є інформація щодо координати, номер об'єкта, дати та час здійснення фотографії. Потім оператор виконує аналіз стану залізобетонної опори та координат плям корозії для подальшого здійснення спектрального аналізу.

Перед спектральним аналізом виконують калібрування електронного пристрою. Для здійснення цього вибирається «Режим 3». Блок-схема алгоритму калібрування спектрометром наведено на рис. 3.10.

Калібрування здійснюється зі застосуванням стандартних зразків, які відповідають точності, що наведено в ДСТУ на виконання спектрального аналізу. На цьому етапі здійснюється серія вимірювання зразків, які мають різну концентрацію заліза. Після здійснення необхідної кількості вимірювань виконують апроксимацію поліноміальної залежності f зі ступенем 2 або 3. За результатами апроксимації виконується регресійний аналіз та отримують градувальну залежність.

Блок-схему алгоритму спектрального аналізу внутрішньої частини залізобетонної опори під час вибору «Режим 4» наведено на рис. 3.11.

Оператором задаються координати знаходження плям корозії, а також кількість серій вимірювання. Якщо платформа досягла цих координат, то здійснюється зупинка двигуна та включається лазер. За результатами вимірювання інтенсивності розраховується концентрація продуктів корозії, які знаходяться на поверхні залізобетону. Вимірювальний контроль виконується на кожній з можливих дефектних зон.

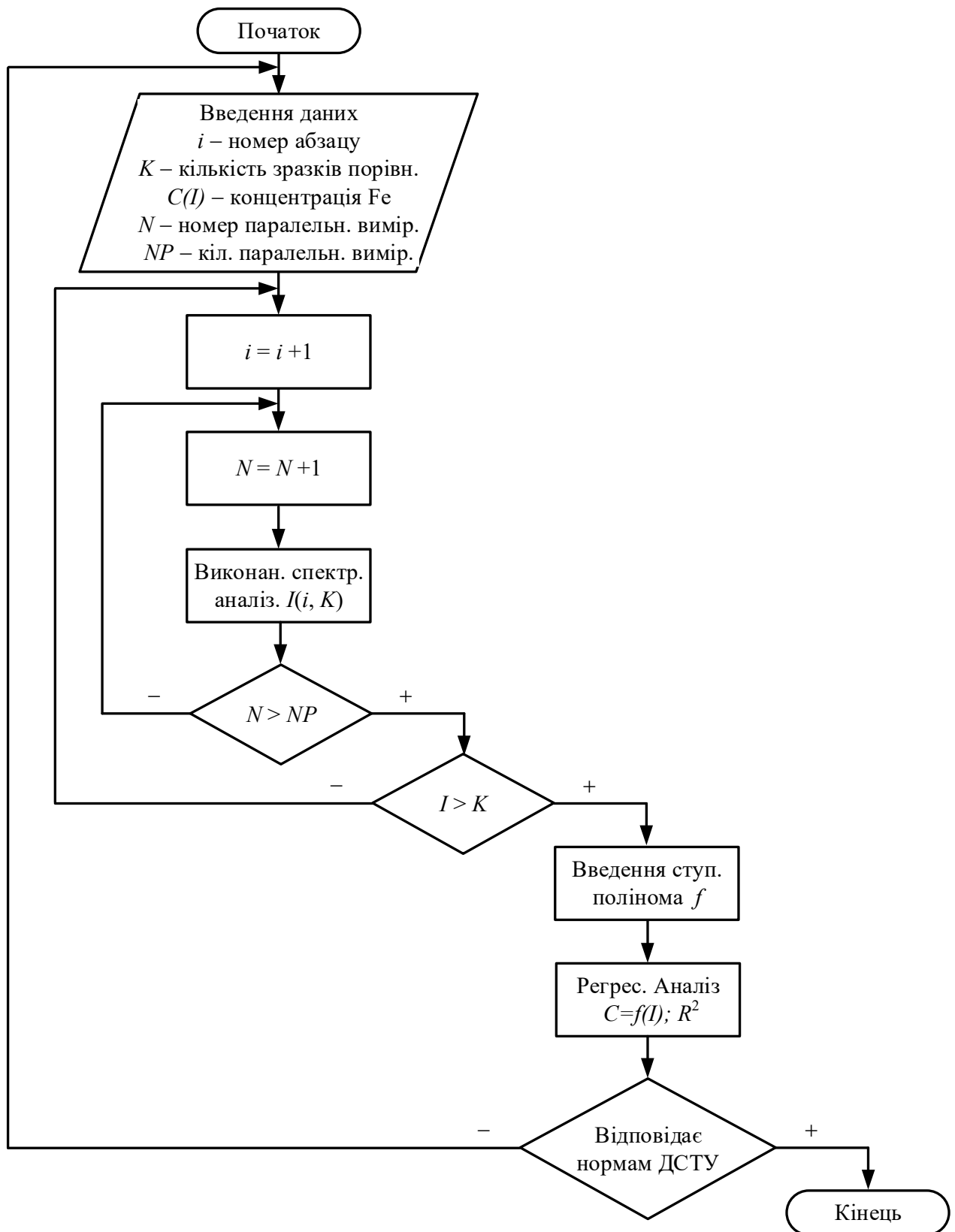


Рисунок 3.10 – Блок-схема алгоритму підпрограми «Калібрування спектрометра»

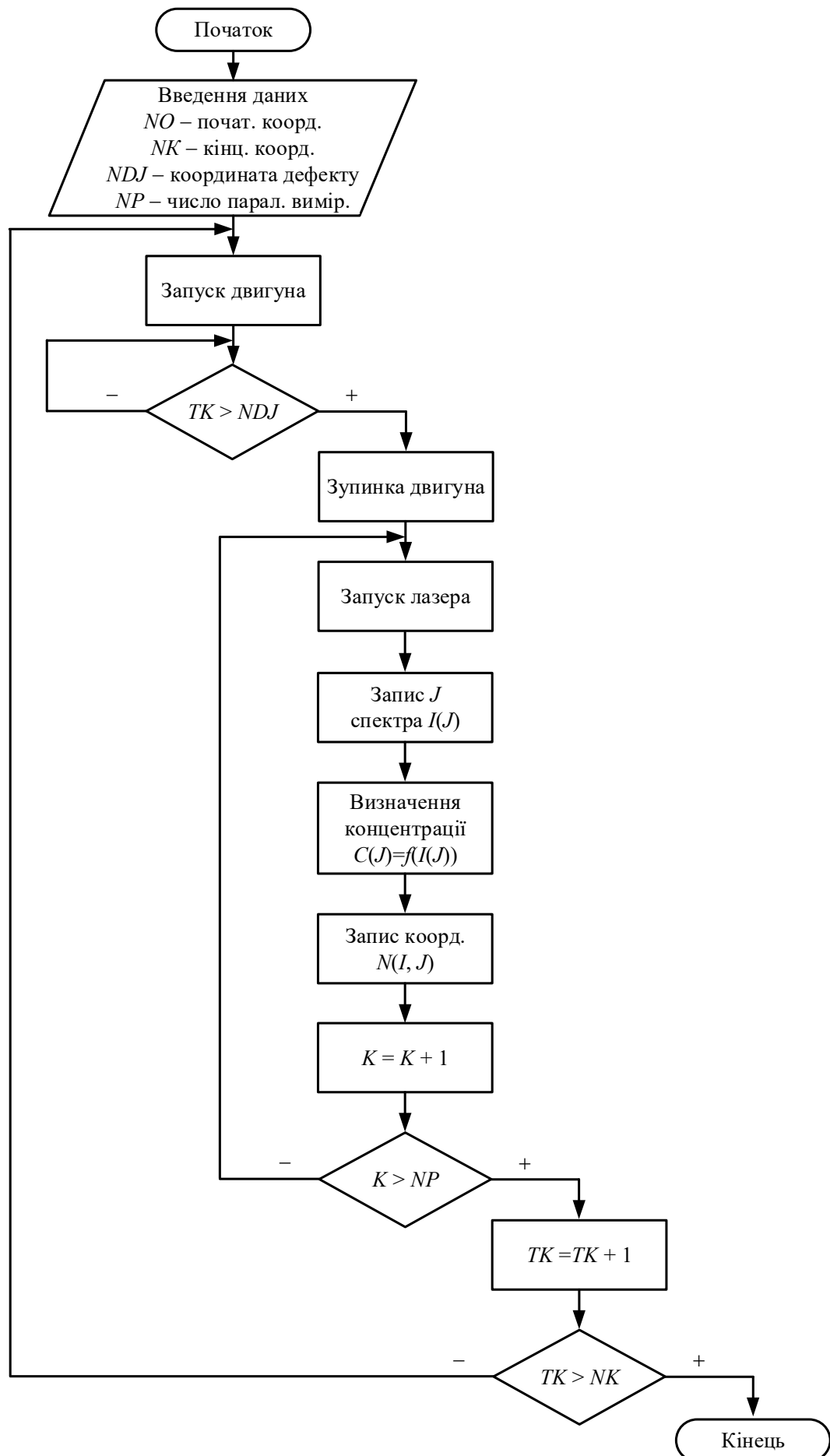


Рисунок 3.11 – Блок-схема підпрограми «Спектральний аналіз»

Визначення корозійного стану здійснюється при виборі «Режиму 5» за значенням допустимої концентрації заліза (CPDK), що вийшло до поверхні залізобетонної опори. По результатами визначеної концентрації розраховується зменшення діаметру сталевोї арматури та зниження міцності залізобетонної опори. Блок-схему алгоритму підпрограми «Визначення корозії» наведено на рис. 3.12.

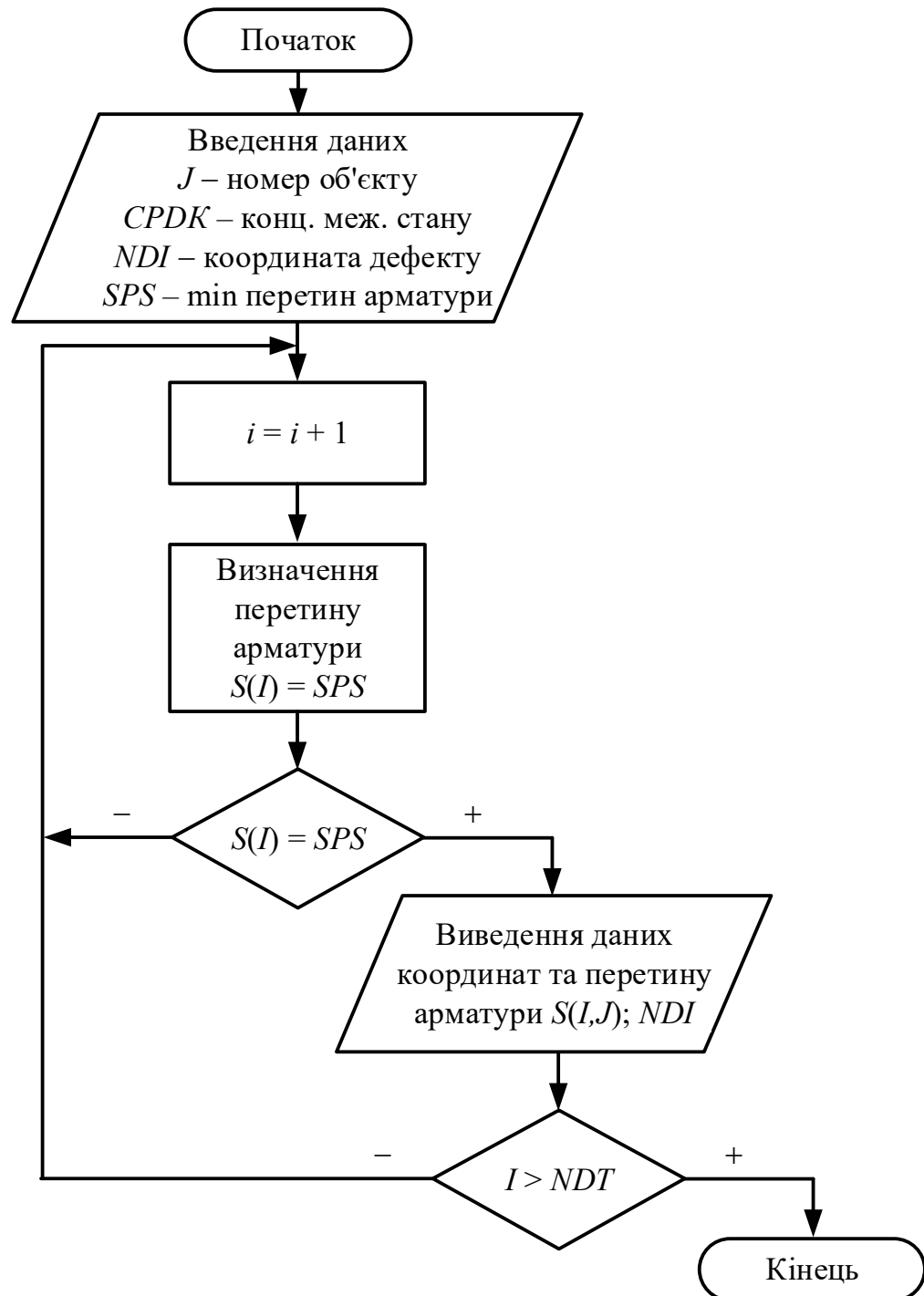


Рисунок 3.12 – Блок-схема алгоритму підпрограми «Визначення корозії»

ВИСНОВКИ

Виконано дослідження об'єкт моніторингу, умови під час дії яких він експлуатується та типи дефектів, до виникнення яких схильні залізобетонні опори. Визначено, що найбільш небезпечним видом дефекту є електрична корозія, наявність якої істотно зменшує міцність опори під час експлуатації.

Виконано аналіз методів моніторингу корозійного стану залізобетонних опор, що дозволило визначити їх базові недоліки. Зі застосуванням спектральних методів аналізу можна розв'язати цю задачу тому, що висновок щодо стану опори не можна формулювати за непрямими ознаками. Прямі методи моніторингу дозволяють визначити кількість заліза, що вийшла з арматури стрижня до поверхні залізобетонної опори.

Розроблено пристрій для відбору проби з внутрішньої поверхні залізобетонних опор, який базується на використанні гнучкого відео ендоскопу, робочий орган якого має вид бормашини, що дозволяє одержати пробу в вигляді порошку, яку підготовлено для виконання спектрального аналізу.

Розроблено схему структурну пристрою моніторингу корозійного стану залізобетонних опор. Схема має в своєму складі рухомий зонд, який розміщений всередині залізобетонної опори та є змога здійснення спектрального аналізу корозії на поверхні опори.

Виконано вибір оптико-волоконного кабелю та лазера у пристрої моніторингу корозійного стану залізобетонної опори. Здійснено розробку пристрою позиціонування оптичного зонда в середині опори для вимірювання кількості продуктів корозії на поверхні залізобетону. Апаратну компоненту пристрою переміщення вимірювальних перетворювачів розроблено на платформі Arduino.

Розроблено алгоритм керування пристроєм моніторингу, що реалізує метод спектрального аналізу корозії всередині залізобетонних опор контактних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуков, А.И. Проблема надежности опор контактной сети / А.И. Гуков // «Надежность железобетонных опор контактной сети». Труды ЦНИИ МПС, 1973. – № 503. – С. 4 – 13.
2. Голышев, А.Б. Проектирование железобетонных конструкций: справочное пособие / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук и др. Под ред. А.Г. Голышева. – К.: Будівельник, 1985. – 496 с.
3. Селедцов, Э.П. Эксплуатация опор контактной сети / Э.П. Селедцов, Е.А. Баранов. – М.: Транспорт, 1970. – 95 с.
4. Пузанов, А.В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций / А.В. Пузанов, А.В. Улыбин // Инженерно-строительный журнал, 2011. – №7. – С. 18 – 25.
5. Кудрявцев, А.А. Несущая способность опорных конструкций контактной сети / А.А. Кудрявцев. – М.: Транспорт, 1988. – 158 с.
6. Пономарев, А.В. Коррозионные разрушения железобетонных опор контактной сети в условиях работы железнодорожного транспорта / А.В. Пономарев, И.В. Вазем, А.В. Колесник // Транспорт азиатско-тихоокеанского региона, 2016. – № 2(7). – С. 21 – 23.
7. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах. / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
8. Воробьева, Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Г.Я. Воробьева. – Изд. 2-е пер. и доп. – М.: Химия, 1975. – 816 с.
9. Вайнштейн, А.Л. Коррозионные повреждения опор контактной сети / А.Л. Вайнштейн, А.В. Павлов. – М.: Транспорт, 1988. – 111 с.
10. Пахомов, В.С. Коррозия металлов и сплавов: справочник Книга 1 / В.С. Пахомов. – М.: Наука и технологии, 2013. – 448 с.
11. Васильев, А.А. Методика оценки и прогнозирования состояния

длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций / А.А. Васильев // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого, 2006. – № 3(26). – С. 44 – 55.

12. Кандаев, В.А. Совершенствование эксплуатационного контроля коррозионного состояния подземных сооружений систем электроснабжения железнодорожного транспорта: монография / В.А. Кандаев. – Омск: ОмГУПС, 2003. – 225 с.

13. Буравлев, Ю.М. Основы атомно-эмиссионного спектрального анализа металлов и сплавов / Ю.М. Буравлев. – Донецк: ДонНУ, 2001. – 358 с.

14. Кремерс, Д. Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия / Д. Кремерс, Л. Радziemски. – М.: Техносфера, 2009. – 360 с.

15. Wilsch, G. Determination of chloride content in concrete structures with laser-induced breakdown spectroscopy / G. Wilsch, F. Weritz, D. Schaurich etc // Construction and Building Materials 19, 2005. – №1 (10). – P. 724 – 730.

16. Алешкевич, В.А. Курс общей физики. Оптика / В.А. Алешкевич. – М.: Физматлит, 2011. – 320 с.

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

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами 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 до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів 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 м 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 та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

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

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

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за 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 від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою 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.).

Визначається 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 зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

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

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

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

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., 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. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

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

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

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

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

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

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

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

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається 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 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

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) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$