

ЗАТВЕРДЖЕНО

Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України

29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут нафти і газу

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра прикладної екології та природокористування

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності»

Виконала: студентка 6-го курсу, групи 601-мТЗ

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

Бондар В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степова О. В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Ільїна В.Г.

(прізвище та ініціали)

2022 р.

АНОТАЦІЯ

Бондар О.В. Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності. Рукопис. Кваліфікаційна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища», Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2022.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури із 42 найменувань. Робота викладена на 79 аркушах.

Ключові слова: процес зовнішньої біокорозії, бактерії циклу сірка, ґрунтове середовище, сталеві нафтопроводи, показники біокорозії, едафічні показники, швидкість біокорозії.

Магістральні нафтопроводи експлуатуються головним чином, під землею, тому вони підлягають впливу ґрунтової корозії, де створені всі умови для розвитку та протікання біоелектрохімічної корозії. Біологічна корозія нафтопроводів є одним з найбільш небезпечних видів корозії, яку спричиняють бактерії, що утворюють біоплівки на поверхні труби та призводять до їх біопшкодження.

Основною екологічною проблемою, яка пов'язана з експлуатацією нафтопроводу в ґрунтовому середовищі, є проблема ризику його розгерметизації, що спричинить до забруднення ґрунтового та водного середовища вуглеводнями.

Для запобігання забруднення навколишнього середовища при експлуатації нафтопроводів необхідно оцінювати та враховувати закономірності й механізм біокорозійних процесів на зовнішній поверхні труб для оцінювання їх довговічності.

Одним із шляхів попередження розгерметизації нафтопроводів є врахування факторів, що характеризують корозійні процеси на металі трубопроводу. Для оцінювання впливу біологічної корозії необхідно враховувати кількісні характеристики біокорозійного процесу, а саме струмовий, масовий, глибинний та об'ємний показники.

Вище зазначене підтверджує актуальність дослідження показників біокорозії в ґрунтах Полтавської області з метою оцінювання швидкості біокорозійних процесів.

Мета роботи – визначити швидкість біокорозії нафтопроводів Полтавської області.

Об'єкт дослідження – процес зовнішньої біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційного джерела забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів.

Предмет дослідження – кількісні показники біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційного джерела забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів.

У теоретичній частині розглянуто та досліджено наукові статті, публікації, дослідження пов'язані з корозією нафтопроводів. На основі цього визначено основні причини появи та впливу біокорозії на магістральний трубопровід в ґрунтовому середовищі.

У розрахунково-аналітичній частині роботи розраховано кількісні показники біокорозії, а саме: струмовий, масовий, глибинний та об'ємний. Розроблена математичну модель інтенсивності біокорозії сталі в ґрунтових умовах Полтавської області з дотриманням вимог безпечної експлуатації та за цією моделлю розрахована швидкість біокорозії.

Інформаційною базою для написання даної роботи є монографії, підручники, навчальні посібники та наукові статті з питань впливу бактерій на біокорозію сталевих нафтопроводів.

ANNOTATION

Bondar O.V. Research of soils of the Poltava region regarding their biocorrosive activity. Manuscript. Qualification work for obtaining the second (master's) level of higher education in specialty 183 «Environmental protection technologies» under the educational and professional program «Environmental protection technologies», National University «Yury Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, 2022.

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions and a list of referens from 42 sources. The work is laid out on 79 sheets.

Keywords: external biocorrosion process, sulfur cycle bacteria, soil environment, steel oil pipelines, biocorrosion indicators, edaphic indicators, biocorrosion rate.

Main oil pipelines are operated mainly underground, therefore they are subject to the influence of soil corrosion, where all the conditions for the development and flow of bioelectrochemical corrosion are created. Biological corrosion of oil pipelines is one of the most dangerous types of corrosion, which is caused by bacteria that form biofilms on the surface of the pipe and lead to their biodamage.

The main environmental problem associated with the passage of an oil pipeline in the soil environment is the problem of the risk of its depressurization, which will cause contamination of the soil and water environment with hydrocarbons.

To prevent environmental pollution during the operation of oil pipelines, it is necessary to evaluate and take into account the patterns and mechanism of biocorrosion processes on the outer surface of the pipes to assess their durability. One of the ways to prevent depressurization of oil pipelines is to take into account the factors characterizing corrosion processes on the metal of the pipeline. To assess the impact of biological corrosion, it is necessary to take into account the quantitative characteristics of the biocorrosion process, namely current, mass, depth and volume indicators.

The above confirms the relevance of the study of biocorrosion indicators in the soils of the Poltava region in order to assess the speed of biocorrosion processes.

The purpose of the work is to determine the rate of biocorrosion of oil pipelines in the Poltava region under the influence of bacteria.

The object of research is the process of external biocorrosion of operating steel oil pipelines as a potential source of environmental pollution due to the leakage of oil products.

The subject of the research is quantitative indicators of biocorrosion of operational steel oil pipelines as a potential source of environmental pollution due to the leakage of oil products.

In the theoretical part, scientific articles, publications, and studies related to the corrosion of oil pipelines are considered and researched. Based on this, the causes of the appearance and impact of biocorrosion on the main pipeline in the soil environment were determined.

In the calculation and analytical part of the work, quantitative indicators of biocorrosion were calculated, namely: current, mass, depth and volume. A mathematical model of the intensity of biocorrosion of steel in the soil conditions of the Poltava region was developed in compliance with the requirements of safe operation, and the rate of biocorrosion was calculated according to this model. The information base for writing this work is monographs, textbooks, training manuals and scientific articles on the influence of bacteria on biocorrosion of steel oil pipelines.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	8
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЮ НАФТОПРОВODІВ	15
1.1. Аналіз причини аварійності нафтопроводів	15
1.2. Види корозії та корозійного руйнування	19
1.3. Роль біологічного фактору у пошкодженні нафтопроводів.....	24
1.4. Аналіз умов експлуатації підземних нафтопроводів у полтавській області.....	29
1.5. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра.....	33
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	37
2.1. Об'єкти дослідження.....	37
2.2. Методи дослідження	38
2.2.1. Метод відбору ґрунтових проб	38
2.2.2. Методи визначення наявності сульфатів	39
2.2.3. Визначення швидкості корозії сталі в середовищах ґрунту.....	39
2.2.4. Методи визначення рН.....	40
2.2.5. Методика проведення повного факторного експерименту.....	41
2.2.6. Математична обробка експериментальних даних	43

					601-МТЗ №ЗК 9599253 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробила		Бондар О.В.		10.12	Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо біокорозійної активності	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Степова О. В.		10.12			6	79
Н. Контр.		Степова О. В.		10.12	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			
Зав. кафедр.		Степова О.В.		10.12				

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ІНТЕНСИВНОСТІ БІОКОРОЗІЇ НАФТОПРОВОДІВ В ҐРУНТОВИХ УМОВАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ..	45
3.1. Показники інтенсивності біокорозії.....	45
3.2. Дослідження едафічних показників ґрунтів та оцінювання їх впливу на корозійний стан нафтопроводу	48
3.3. Визначення швидкості корозії сталі в середовищі ґрунту за гравіметричним методом.....	56
3.4. Планування повного факторного експерименту	62
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК ГЛИБИНИ БІОКОРОЗІЇ СТАЛЕВИХ НАФТОПРОВОДІВ В ҐРУНТОВИХ УМОВАХ ПОЛТАВЩИНИ	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
ДОДАТОК А	76
ДОДАТОК Б.....	78
ДОДАТОК В.....	79

					601-МТЗ №ЗК 9599253 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробила		Бондар О.В.		10.12	Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Степова О. В.		10.12			7	79
Н. Контр.		Степова О. В.		10.12	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			
Зав. кафедр.		Степова О.В.		10.12				

Форма № Н-9.01

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут нафти і газу

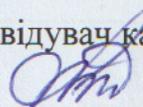
Кафедра прикладної екології та природокористування

Освітній рівень – магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 / Степов О.В.

(підпис)

(ПІБ)

15.08.2022 року

(дата)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТУ

Бондар Оксані Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активностіКерівник роботи Степова Олена Валеріївна, доктор технічних наук, професор,

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

затверджені наказом Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» від «12» 08 2022 року № 544-фа2. Строк подання студентом роботи 10.12.2022

(дата)

3. Вихідні дані до роботи аналітичні дослідження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розділ 1. Аналіз чинників, що впливають на розгерметизацію нафтопроводів.

Розділ 2. Об'єкти та методи дослідження.

Розділ 3. Дослідження показників інтенсивності біокорозії нафтопроводів у ґрунтових умовах Полтавської області.

Розділ 4. Розрахунок глибини біокорозії сталевих нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавської області.

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

1) Титульний аркуш, 2) Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності, 3) Аналіз відомих досліджень, 4) Структурно-логічна схема досліджень, 5) Наслідки для довкілля аварій на нафтопроводах, 6) Бактерії, що спричиняють біокорозію, 7) Показники інтенсивності корозії, 8) Експериментальні дослідження щодо встановлення кількісних показників біокорозії, 9) Експериментальні дослідження щодо встановлення кількісних показників біокорозії, 10) Планування повного факторного експерименту, 11) Розрахунок глибини біокорозії сталевих нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавщини, 12) Апробація результатів дослідження, 13) Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

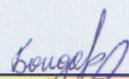
7. Дата видачі завдання

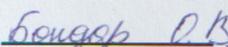
15. 08. 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз чинників, що впливають на розгерметизацію нафтопроводів	29.08.2022	
2	Розробка графічної частини	13.09.2022	
3	Обґрунтування методів та об'єктів досліджень	27.09.2022	
4	Розробка графічної частини	11.10.2022	
5	Розділ 2. Об'єкти та методи дослідження	25.10.2022	
6	Розробка графічної частини	08.11.2022	
7	Розділ 3. Дослідження показників інтенсивності біокорозії нафтопроводів у ґрунтових умовах Полтавської області Розділ 4. Розрахунок глибини біокорозії сталевих нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавської області	22.11.2022	
8	Розробка графічної частини	06.12.2022	
9	Оформлення та узгодження роботи	18.12.2022	
10	Захист кваліфікаційної роботи	20.12.2022	

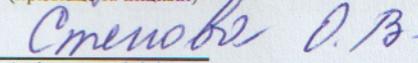
Студент


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)


(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Актуальність теми. Україна має розгалужену мережу сталевих нафтопроводів, які є об'єктами підвищеної небезпеки з точки зору сучасних екологічних вимог. У разі аварій на зазначених об'єктах виникають екологічні ризики забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів.

Проблема забезпечення екологічно безпечної роботи нафтотранспортної мережі є досить гострою. Особливо небезпечним є забруднення довкілля внаслідок значної кількості аварій та пошкоджень на нафто- та газопроводах, причиною яких є корозійні пошкодження та руйнування. Гостро стоїть проблема захисту трубопроводів від зовнішньої корозії. Значна частина корозійних руйнувань металів у ґрунтовому середовищі - це результат мікробіологічної корозії. Головна загроза біологічної корозії полягає в тому, що бактерії швидко розмножуються та легко пристосовуються до фізичних, біологічних і хімічних змін умов середовища. Особлива роль у прискоренні біокорозії сталі належить бактеріям циклу сірки. Їх метаболік це сірководень, який є сильним стимулятором корозії сталі.

Із врахуванням стану питання сформульовані мета, основні завдання та методологічну схему досліджень.

Мета і завдання досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є визначити швидкість біокорозії нафтопроводів Полтавської області.

Для досягнення визначеної мети поставлено до вирішення наступні **задачі досліджень:**

1. виконати аналіз відомих досліджень з впливу біокорозії на сталь в ґрунтовому середовищі;
2. встановити залежність біокорозії від фізичних показників ґрунтового середовища;
3. розробити математичну модель інтенсивності біокорозії сталі в ґрунтових умовах Полтавської області з дотриманням вимог безпечної експлуатації;
4. розрахувати швидкість біокорозії за запропонованою моделлю.

Об'єкт дослідження – процес зовнішньої біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційного джерела забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів.

Предмет дослідження – кількісні показники біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційного джерела забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає: *вперше* запропоновано математичну модель інтенсивності біокорозії сталі в ґрунтових умовах Полтавської області з дотриманням вимог безпечної експлуатації, що дозволяє встановити найбільш корозійно небезпечні ділянки.

Практичне значення одержаних результатів роботи.

Отримані результати наукової роботи будуть використані при розробці та впровадженні нових лекційних курсів при викладанні навчальних дисциплін "Техноекологія", «Моделювання та прогнозування стану довкілля» для студентів спеціальностей 101 Екологія, 183 Технології захисту навколишнього середовища.

Пропонується врахувати результати кваліфікаційної роботи при обстеженнях нафтопроводів на території Полтавської області.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій кваліфікаційної роботи забезпечуються відповідністю поставлених задач обраній методології та методикам досліджень; обґрунтованим вибором припущень і обмежень.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на двох конференціях різних рівнів:

1. Серга Т.М., Бондар О. Екологічні ризики при транспортуванні вуглеводневої сировини. *Матеріали XXII Міжнародної наукової конференції «Екологія. Суспільство. Молодь»*, Київ, НУУ, КПІ.

2. Олена Степова, Оксана Бондар, Карина Белоконь, Вікторія Єрмоменко Запобігання наслідкам розгерметизації сталевих нафтогазопроводів. *Підсумкова науково-практична конференція II туру Всеукраїнського конкурсу*

студентських наукових робіт з галузі «Пожежна безпека» та «Цивільна безпека (Цивільний захист)», 15.04.2021, Харків, НУЦЗУ

3. Степова О. В., Бондар О. В. Заходи запобігання розгерметизації сталевих нафтогазопроводів. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів : Збірник матеріалів Київ : Яроченко Я. В., 2022.С. 122-123*

4. Степова О. В., Бондар О.В., Далявська С.І., Мальований М.С. Моніторинг індикаторів біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів : Збірник матеріалів Київ : Яроченко Я. В., 2022.С. 256-257*

5. Степова О. В., Бондар О. В., Куш О. Ю., Степовий Д. Є. Дослідження біокорозійних процесів у ґрунтовому середовищі. *Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах нежзвичайних ситуацій» (Україна, Полтава – Львів, 26-27 травня 2022 року) С. 561-563*

6. Степовий Є., Бондар О., Степовий Д. Врахування умов розвитку корозійних процесів на ділянках нафтогазопроводів. *Матеріали II Всеукраїнської інтернет-конференції «Стратегія сталого розвитку України: сьогодення та перспективи», присвяченої 30-річчю кафедри екології, технологій захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, 22 вересня 2022р.*

7. Степова О.В., Задорожна С.О., Бондар О.В., Степовий Д.Є. Дослідження біокорозійних процесів у ґрунтовому середовищі. *Матеріали III Міжнародної інтернет-конференції «Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти», 25.02.2022, Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна*

8. Степова О.В., Бондар О.В., Степовий Д. Врахування умов експлуатації нафтопроводів щодо оцінки біокорозійних процесів. *Матеріали Міжнародної*

наукової конференції за участі молодих науковців «Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування», 21-22.09.22, м. Одеса, ОДЕКУ

9. Степова О., Степовий Є., Бондар О., Степовий Д., Кальна М. Аналіз інтенсивності показників корозії у ґрунтових умовах Полтавщини. *Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Environment recovery and reconstruction: war context 2022», 17-18.11.2022 м. Полтава*

10. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», 1-2 грудня, 2022 р.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури із 42 найменувань. Робота викладена на 79 аркушах. Графічна частина роботи містить 13 аркушів формату А3.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЮ НАФТОПРОВОДІВ

1.1. Аналіз причини аварійності нафтопроводів

Трубопровідна система це джерело підвищеної небезпеки через велику кількість зварних швів та фланцевих з'єднань, запірної та регулюючої арматури, суворого середовища та значної кількості транспортується ними речовини. Ризики передачі рідини пов'язані з постійними динамічними навантаженнями на системність і нестабільність процесу. Добре створюють перепади тиску, динамічні та статичні навантаження умови деформаційного старіння металу. З цього погляду транспортування нафти по трубопроводі становить найбільшу небезпеку, оскільки для цієї речовини характерне утворення двофазної течії, наявність пульсаційного потоку, утворення ударних хвиль і зон розряду. Нестационарний процеси можуть призвести до вібрації комунікацій та обладнання, протікання трубопроводів до їх повне катастрофічне руйнування. Велика кількість сполучної арматури створює додаткову небезпеку втрати цілісності трубопроводу.

Нині нафтова промисловість приділяє велику увагу забезпеченню надійності та безпеки під час роботи будівництво та експлуатація магістральних трубопроводів. Незважаючи на цей факт, надзвичайні ситуації пов'язані з транспортуванням нафти трубопроводами трапляються дуже часто [1].

Причини появи аварій на магістральних нафтопроводах можна умовно розділити на великі групи:

-зовнішній фізичний вплив на нафтопроводи (під час прокладання та експлуатації);

- вплив на етапі будівництва (порушення норм та правил виробництва).

Переважна більшість передумов до аварій закладаються під час проектування та будівництва нафтопроводу. Внаслідок нерозвиненості та недоопрацювання

нормативно-правових баз у проекти нафтопроводів заявлені вимоги до нафтопроводів не повною мірою відповідають фактичним, що порушує безпеку магістрального нафтопроводу.

Найчастіше у замовників нафтопроводів стоїть першочергове завдання швидкість прокладання, що на етапі будівництва значно збільшує ризик пошкодження нафтопроводу. Через невизначеність у вимогах проекту щодо збереження навколишнього середовища нафтопроводи прокладають найкоротшим шляхом, намагаючи знизити витрати. У ході даних помилок також можуть бути не враховані небезпечні процеси природного походження в місці прокладки нафтопроводу, такі як схід лавин, селеві потоки, вічна мерзлота, зледеніння та ін. Великі аварії експлуатованих нафтопроводів відбуваються внаслідок пластичних деформацій на ділянках концентрації напруги в умовах повторно-статичного впливу напруг на певну частину нафтопроводу. Постійні статичні навантаження призводять до збільшення тріщин, що знижує несучу здатність нафтопроводу та підвищує ймовірність розриву стінки та аварії з розливом [2].

Основну частину уже пролягаючих нафтопроводів покривали недовговічними та бітумними захисними плівковими покриттями, що значно поступаються сучасним поліетиленовим покриттям. Термін служби застарілих покриттів не перевищує 15...20 років, тому більшість діючих нафтопроводів потребують капітального ремонту із заміни ізоляції.

Також нафтопроводи, які прокладали 20...30 років тому, багато в чому не відповідають сучасним стандартам і активно зазнають корозії, руйнуючись під її впливом. Посеред технічних першопричин аварій на нафтопроводах у процесі експлуатації можна виділити такі групи:

- зовнішні дії на нафтопровід (несанкціоновані врізки, можливі навантаження під час здійснення різних робіт поблизу нафтопроводу, землетруси, зсуви, вибухи та ін.);

- корозійне пошкодження нафтопроводу –це руйнування металевих поверхонь нафтопроводу через хімічний або електрохімічний вплив навколишнього середовища;

- дефекти труб - невідповідність якості матеріалів та контрольованих параметрів виробів заданим регламентом нормам;

- руйнування фланцевих та зварних з'єднань нафтопроводів;

- несправності запірних регулюючих пристроїв, запобіжних та аварійних клапанів;

- несправність засобів контролю та сигналізації.

Також існують організаційні причини аварійності нафтопроводів під час проектування та будівництва нафтопроводу:

- недостатній контроль за станом трубопроводів, порушення регламентів обслуговування та ремонту;

- помилки під час проектування;

- порушення вимог промислової безпеки, норм та правил пожежної безпеки, помилки у діях персоналу;

- порушення технології зварювання, неякісний монтаж та складання нафтопроводу [3].

Розглянуто наймасштабніші аварії які відбулися у світі за 2017-2022 роки та проведемо аналіз причин аварійності нафтопроводів.

1. 19 листопада 2021 року на території Сумської області на відрізку нафтопроводу сталася розгерметизація яка призвела до розливу нафти в полі. Вилив нафтоводяної суміші стався на зоране поле. Приблизна площа забруднення складає 210 м².

2. Наприкінці 2018 року підприємство «Прикарпатзахідтранс» власноруч розпочало демонтувати резервну гілку магістрального трубопроводу "Самара – Західний напрям". За масштабами забруднення та псування земель Закарпаття екологічні збитки сягали понад 34 млн грн.

3. 5 серпня 2021 року систематично в особливо великих розмірах крали нафту, що транспортується по магістральному нафтопроводі «Лисичанськ-Кременчук».

4. 7 вересня 2019 року крадіжка призвела до великомаштабної пожежі на Сумщині. Вона відбулася у полі родовища Охтирканафтогаз на законсервованій свердловині Анастасівського. Ця свердловина не була в експлуатації 1,5 року. В наслідок пожежі знищено автомобіль КАМАЗ, що в той час там знаходився, та технічне устаткування свердловини.

5. 11 травня 2021 року на території Республіки Комі через аварію на трубопроводі компанії «Лукойл» до ґрунту та в річку Колва просочилося майже 90 тонн вуглеводнів. Збиранням нафтопродуктів займалося майже 230 працівників «Лукойлу», та майже 70 одиниць робочої техніки. 15 травня нафту зафіксували за 200 кілометрів в низу за течією у великих рісках Усу та Печору.

6. 11 грудня 2018 року стався витік нафти з трубопроводу «Дружба», розгерметизація сталася через нелегальну врізку в нафтопровід. В наслідок забруднено близько 250 м² ґрунту.

7. 6 березня 2021 року у Росії сталася пожежа в акваторії річки Об, що під Нижньовартовськом. Причиною аварії є прорив нафтопровода, а в результаті площа загорання близько 1000 м².

8. 4 червня 2020 року у Росії в Пермському краю прорвався трубопровід «Холмогори-Клин». В результаті 10 м³ нафти просочилося в ґрунт.

9. 4 жовтня 2021 року в США стався витік більше 3000 барелів нафти. Витік стався біля узбережжя Хантінгтон-Біч в окрузі Оріндж, Каліфорнія. В результаті витоку в Тихому океані загинули риби та птахи, оскільки потоки нафти потрапили до місцевого екологічного заповідника.

Проаналізувавши приклади аварій на нафтопроводах виходить, що найчастіше трапляються такі :

- більшість аварій трапляються через розгерметизацію, причиною якої стала корозія; ще одна з причин це нелегальна врізка в нафтопровід;

- найбільші за масштабом аварії стаються в річках та океанах, в результаті чого гине багато птахів, риб, рослин а інколи навіть людей. Наслідки яких важко усувати і призводить до забруднення світового океану.

1.2. Види корозії та корозійного руйнування

Корозія в даній галузі є однією з невирішених проблем. Більшість промислових конструкцій неможливо виконати без урахування дії корозії термін роботи обладнання. Промислові катастрофи, які відбулися нещодавно, показали, велика кількість галузей промисловості обанкротились на мільярди доларів внаслідок корозії. Було зазначено, що витрати, пов'язані з корозійними ушкодженнями всіх видів, за оцінками, становлять від 3% до 5% валового національного продукту промислово розвинених країн [4].

Корозія – це руйнівний вплив на метал, що є результатом реакції з навколишнім середовищем та природна потенційна небезпека, поєднана з об'єктами видобутку та транспортування нафти та газу [5]. Майже будь-яке водне середовище зможе сприяти корозії, що виникає при чималих складних умовах у системах видобутку, переробки та трубопроводів нафти та газу. Цей процес входять три складових елемента: анода, катода та електроліту. Анод - це місце корозії металу, електроліт - корозійне середовище, що забезпечує переміщення електронів від анода до катода, а катод породжує в осередку електричний провідник, який не розтрачується у процесі корозії [6].

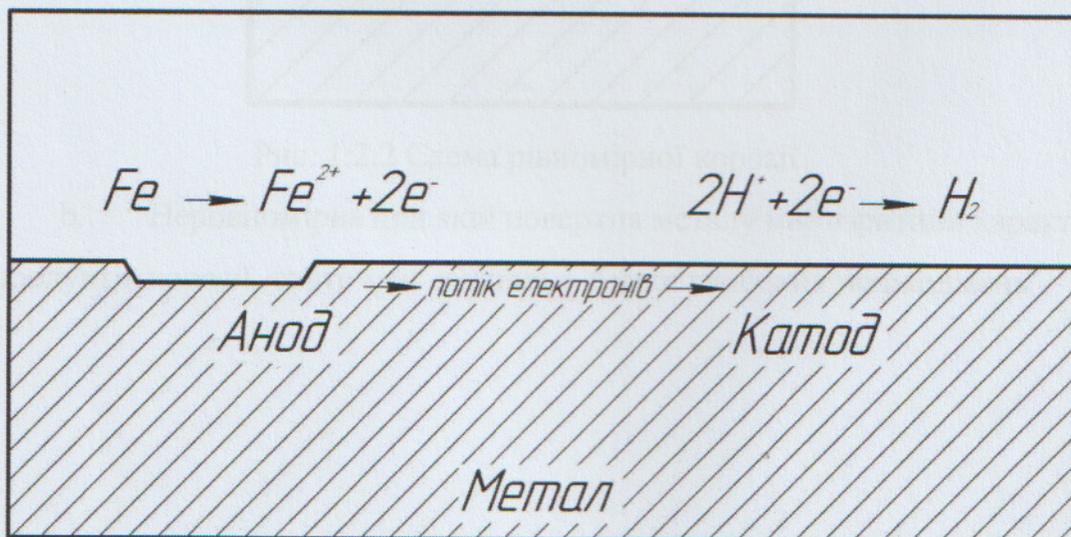


Рис. 1.2.1 Схема корозійний процес

Руйнування металу спричиняє втрату його механічних властивостей, таких як міцність, твердість, пластичність, ударна в'язкість та пружність. Що призводить до втрати матеріалів, зменшення товщин і навіть до повного виходу з ладу [7]. Корозію можна розділити на основі появи корозійних ушкоджень, механізму впливу, галузевої приналежності та методів її профілактики. Існує безліч її видів та причин виникнення.

Види корозії за характером руйнування:

1) Суцільна(загальна), що виникає при контакті всієї поверхні металу з навколишнім середовищем . Вона поділяється на 2 типа:

а. Рівномірна, коли вся поверхня металу роз'їдається однаково без змінення її топографії.

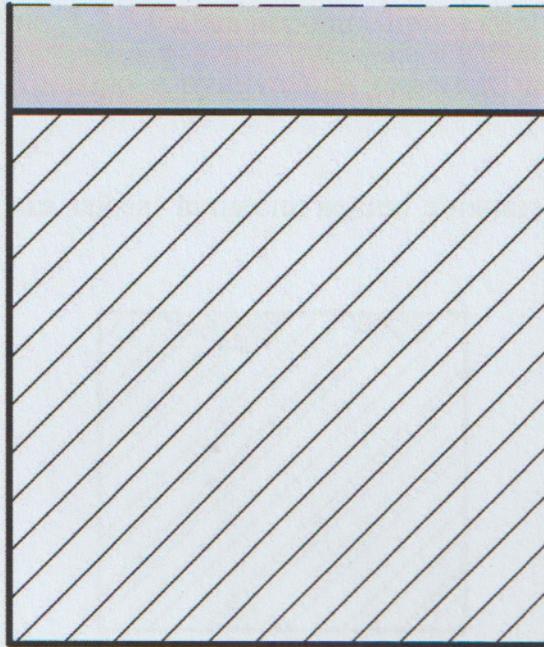


Рис. 1.2.2 Схема рівномірної корозії

б. Нерівномірна при якій поверхня металу має «зритий» характер, під шаром продуктів корозії, тобто має ділянки з більш глибоких пошкоджень

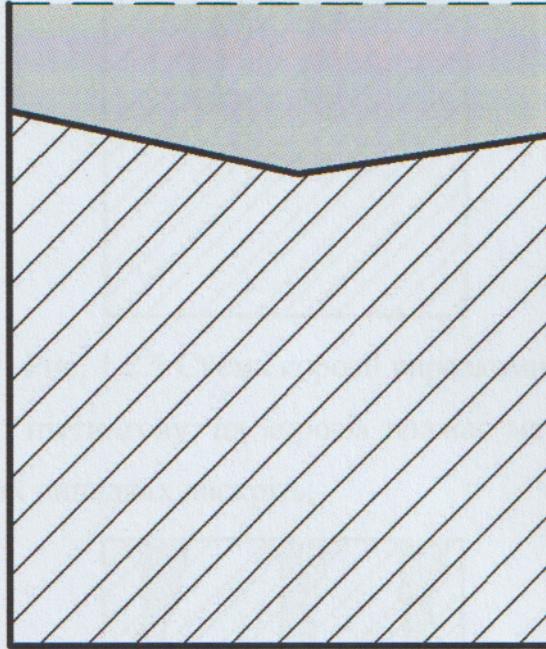


Рис. 1.2.3 Схема нерівномірної корозії

2) Місцева. Її ознакою є руйнування окремих частин поверхні металу. В свою чергу поділяється на:

- Корозія плямами, яка займає відносно великі ділянки поверхні та поширюється неглибоко;



Рис. 1.2.4 Схема місцевої корозії

- Корозія виразками, вона вражає метал на велику глибину та на обмеженій площі;

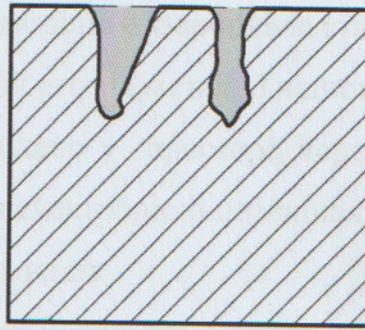


Рис. 1.2.5 Схема корозії виразками

- Точкова або піттингову, ця корозія вражає метал в окремих точках на велику глибину, в деяких випадках наскрізь;

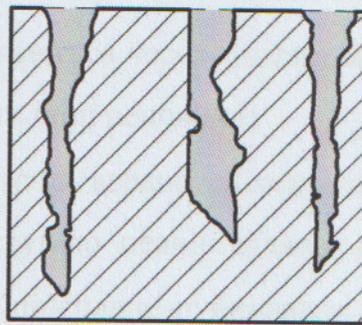


Рис. 1.2.6 Схема точкової (піттингової) корозії

- Міжкристалічна корозія – корозія за межами кристалів металу [8].

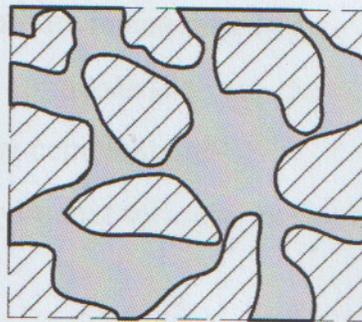


Рис. 1.2.7 Схема міжкристалічної корозії

За ГОСТ 5272– 68 «Корозія металів. Терміни» визначають корозію як руйнування металів через електрохімічну та хімічної взаємодій їх із корозійним середовищем.

Хімічна корозія металів це його взаємодія з корозійної середовищем, за якого вважається, що окислення металу і відновлення окисника із корозійного середовища перебігає в одному акті [9].

Електрохімічна корозія металів є взаємодією сталі з корозійним середовищем – електролітом, за якого іонізація атомів металу і відновлення окисника із корозійного середовища перебігають розділено у просторі, через кілька послідовних стадій, а швидкість їх змінюється через електродний потенціал металу.

Дана корозія буває таких видів :

- контактна корозія, вона відбувається при довгому контакті двох металів у яких відрізняються значення електродних потенціалів;
- атмосферна корозія, яка спостерігається при руйнуванні металів, що перебувають у насиченому вологому повітрі за звичайних температур;
- корозія у ґрунті, відбувається через контакт металу з вологим ґрунтом, який містить розбавлений кисень та інші речовини;
- корозія при нерівномірній аерації спостерігається, коли розчинений у воді кисень має нерівномірний доступ до певних ділянок металу;
- щілиста корозія – це підсилене руйнування металевих конструкцій у його щілинах, отворах, каналах;
- корозія під напруженням, вона відбувається коли на метал одночасно діє корозійне середовище та механічне навантаження;
- фретинг-корозія, яка з'являється від того, що відбувається тертя між поверхнею металу і корозійним середовищем;
- корозійна кавітація – руйнація металів, яке зумовлюється ударною діяльністю корозійного середовища;
- біокорозія – спричиняється продуктами життєдіяльності мікроорганізмів;
- корозія, яка відбувається через дію зовнішнього електроструму, по суті це руйнування підземних металевих комунікацій та споруд блукаючими струмами. В основному цей вид корозії відбувається при роботі рейкового електричного транспорту за рахунок пропускання струму на стики закопаних у ґрунт рейок. Тому в цьому випадку може бути розподіл струму, частина його спрямується в вологий ґрунт. Якщо на цій ділянці проходження струму розміщена підземна металева

споруда, то частина конструкції, через яку входить блукаючий струм, буде катодом, а місце де він вийде – анодом.

Корозія може посилитись від виникнення гальванічних пар при чергуванні ґрунтів різного складу під впливом температурних факторів, людської техногенної діяльності, а також через розвиток мікробіологічних організмів [10].

1.3. Роль біологічного фактору у пошкодженні нафтопроводів

Біопошкодження знижують довговічність і збереження техніки та споруд, призводять до відмов, завдають істотних економічних та екологічних збитків. Тому останніми роками корозія металевих та неметалевих матеріалів виявилася об'єктом дослідження ще й мікробіологів, а не тільки електрохіміків і матеріалознавців. Вплив біологічного чинника в корозії металів та неметалевих матеріалів тяжко переоцінити, адже мікробному руйнуванню піддається майже все, що нас оточує: метал, бетон, скло, камінь, гума, шкіра, асфальт, текстиль, пластмаси та ін [11]. Згідно з експертною оцінкою, близько 80% корозій він нафтопромислового обладнання і більше 50% пошкоджень підземних металоконструкцій обумовлено життєдіяльністю мікроорганізмів[12].

Біологічна корозія в залежності від виду мікроорганізмів поділяються на бактеріальну та мікробіологічну, а також може бути змішаною[13].

Вони дуже швидко розмножуються та легко адаптуються до змін в навколишньому середовищі. Останнє пояснюється тим, що вони здатні адаптивно утворювати ферменти, необхідні для перетворення живильного середовища. Бактерії, життєдіяльність яких протікає в кисневмісних середовищах, відносять до аеробних безкисневих середовищах анаеробним. В природних середовищах аеробні н анаеробні мікроорганізми існують спільно. Зазвичай у корозійному процесі приймають участь бактерії багатьох видів, об'єднані між собою та спільно зумовлюють явище біологічної корозії. При цьому умови існування анаеробних бактерій часто можуть бути створені діяльністю аеробних бактерій.

Мікроорганізми в залежності від температурних умов поділяються на психрофіли, що розвиваються при температурі близько 0 ° С, мезофіли, що

розмножуються при температурі в інтервалі 30 ... 40 ° С, і термофіли, здатні розвиватися за температури 55 ° С і вище [14].

Для розвитку певного виду бактерій необхідні специфічні умови, до яких відносяться певна температура, вологість, рН, Eh, присутність чи відсутність інших бактерій тощо. Багатьом з мікроорганізмів потрібно для розвитку волога, і найчастіше вони розвиваються в нейтральних, слабокислих або слаболужних середовищах [15].

В основному виділяють п'ять груп корозійно-небезпечних бактерій, що руйнують нафтопромислове обладнання:

- залізобактерії – аеробні автотрофні мікроорганізми, що не вимагають для свого розвитку органічних речовин, вбирають залізо в іонному стані та виділяють його у вигляді нерозчинних сполук (бактерії роду) *Gallionella*, *Leptothrix*, *Crenotrix*);
- денітрифікуючі бактерії – аеробні гетеротрофні бактерії, які відновлюють нітрати до вільного азоту, для них джерелом енергії є органічні сполуки нафти (бактерії роду *Pseudomonas denitrificans*, *Pseudomonas fluorescens* та рід *Bacillus*);
- вуглеводні бактерії – аеробні гетеротрофні бактерії, що окислюють вуглеводні нафти та супутнього газу з утворенням проміжних продуктів неповного окислення типу спиртів, альдегідів, діоксиду вуглецю та кислот (род *Pseudomonas*);
- тіонові (сероокисляючі) бактерії – аеробні або анаеробні (залежно від роду) автотрофні мікроорганізми, що здійснюють окислення сірководню, сульфідів кальцію, сірки, тіосульфатів, тетратіонатів, гідросульфідів та деяких інших сполук сірки до стану сульфатів, та сірчаної кислоти (бактерії роду *Thiobacillus thioparus*, *T. thiooxidans*, *T. Ferrooxidans* и др.);
- СВБ – анаеробні автотрофні бактерії, що відновлюють багато сполук сірки, у тому числі сульфати до сульфідів (бактерії роду *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum*, *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum*).

Першість серед мікроорганізмів, що спричиняють руйнування обладнання на нафтопромислах по праву займають СВБ. СВБ представлені чотирма родами : *Desulfomonas*, *Desulfotomaculum*, *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum*.

СВБ, у ході своєї життєдіяльності, піддають мікробіологічній корозії багато конструкційних матеріалів, насамперед сталь, залізо та алюміній. Механізм корозії

визначається стимулюванні реакції катодної деполяризації твердими сульфідами заліза, які утворюються в результаті їх метаболізму або за рахунок споживання ними водню [16, 17].

Про наявність СВБ свідчать корозійні островки на поверхнях металів, заповнені об'ємними продуктами корозії, іноді виражені як концентричних кілець [16].

На металі з'являються продукти корозії у вигляді темної кірки і пухких горбків, які складаються з гідратів, карбонатів, сульфідів і закису та окису заліза і включають численні колонії СВБ (Рис. 1.3.1).

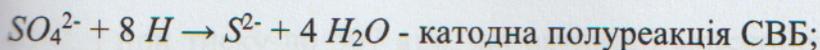
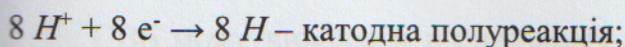
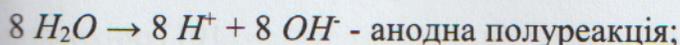
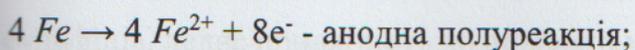


Рис. 1.3.1 - Корозійні виразки на трубній сталі внаслідок дії СВБ

Підкислення середовища продуктами корозії в його виразках зможе досягти значень рН 2,0...0,5.

Найчастіше вони створюють співіснування з денітрифікуючими і вуглеводними бактеріями, які виробляють поживні речовини і створюють необхідні для них анаеробні умови, хоча частіше вони самі стають їжею для СВБ. Продуктами анаеробного дихання СВБ є сірководень.

Основними стадіями корозійного процесу, який відбувається через діяльності СВБ, можуть бути наступними реакціями [18]:



$3 Fe + 6 OH \rightarrow Fe(OH)_2$ - продукти корозії;

$4 Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 4 H_2O \rightarrow FeS + 3 Fe(OH)_2 + 2 OH^-$ - сумарно.

Сульфід заліза, що утворюється в результаті метаболізму СВБ, може сприяти посиленню корозійних процесів.

Під дією мікроорганізмів органічні сірковмісні сполуки мінералізуються, а неорганічні окислюються або відновлюються. У ґрунті окислювальні процеси протікають в основному за участю бактерій роду *Tiobacillus*, що окислюють тіосульфати, сірководень, сульфіди та ін. Швидкість цього процесу залежить від активності тіобактерій та навколишніх умов. В окисленні неорганічних сполук сірки беруть участь сіробактерії *Beggiatoa*, *Thiospirillum*, *Thioplota* та ін. Окислення сірки здійснюється пурпуровими та зеленими серобактеріями, з яких найбільш вивчені бактерії роду *Chromatium*. Необхідною умовою для життєдіяльності пурпурових та зелених сіробактерій є наявність SH_2 , який і визначає їх поширення у ґрунті. З бактерій, які окислюють сірку, готують препарати для вилучення металів із деяких руд.

У погано аерованих ґрунтах відбувається процес сульфатредукції за участю бактерій роду *Desulfovibrio*, які використовують сульфати як акцептори водню в анаеробних умовах при окисленні органічних сполук сірки (сульфатне дихання). Цей процес завершується неповним окисненням сірки і під час його виділяється ацетат, який руйнує деякі мінерали. Бактерії виділяють сірководень, який токсичний для рослин. Основна корисна діяльність сіробактерій полягає в тому, що вони накопичують у природі сірку.

Продукти корозії в основному мають характерний чорний колір (містять сульфіди, карбонати, гідрати оксидів заліза і численні колонії СВБ) і пахнуть сірководнем, включають близько 5% сірки і 40% двовалентного заліза і у вигляді сульфідів, ледве прилягають до поверхні металу, який під їх шаром зберігає блискучу поверхню [19].

СВБ може виживати в широкому діапазоні рН 4,0–8,0 при температурах 10–40°C, і при тиску до 507 атм, які активні і можуть становити загрозу в анаеробних середовищах [20]. Повідомлялося про посилення корозії заглибленої сталі

трубопроводу під впливом СВБ у ґрунтовому середовищі. Попередні дослідження показали, що швидкість корозії сталі зросла в шість разів у присутності СВБ порівняно з такою у стерильному розчині [21]. Liu H.W. та інші повідомив, що новий трубопровід вийшов з ладу через мікробіологічну корозію (МІС) лише за 8 місяців[22].

Xu J. та інші автори повідомили, що СВБ-корозія є серйозною під покриттям, що роз'єдналося, у нейтральному ґрунтовому розчині [23]. Wei B.X. та співавтори роботи також продемонстрували, що корозію сталі прискорює СВБ під роз'єднаним покриттям у кислому ґрунтовому розчині [24].

Вперше корозійне руйнування металу в ґрунті під дією СВБ виявили голландські вчені C. H. Khür і L. S. Van Der Vlugt [25]. Вони звернули увагу на активність СВБ у прилеглому до труби ґрунті, яка була під катодним захистом. Саме так виникла блискуча гіпотеза катодної деполяризації бактеріями як механізму корозії в анаеробних умовах траншеї газопроводу. В подальшому цей механізм підтвердили багато науковців [26]. Зокрема, мікробіологічні дослідження зразків ґрунтів з траншей трансконтинентальних газопроводів виявили значну кількість СВБ на поверхні масиву труби [27]. Отже, залізовмісні конструкції, які кородують, створюють відповідні умови для їх росту.

У роботі C. Sun, J. Xu, F. H. Wang and C. K. Yu проводився експеримент з підсіянням СВБ в зразки ґрунту та сталі Q235 в якому з часом результати показали, що значення рН ґрунту стали збільшилися, кількість СВБ і швидкість корозії металу зменшилась. При цьому вони дійшли до висновку що швидкість корозії сталі в ґрунті з СВБ була набагато вищою, ніж без них, але в даній роботі був досліджений тільки один тип ґрунту і не вказаний який це ґрунт [28].

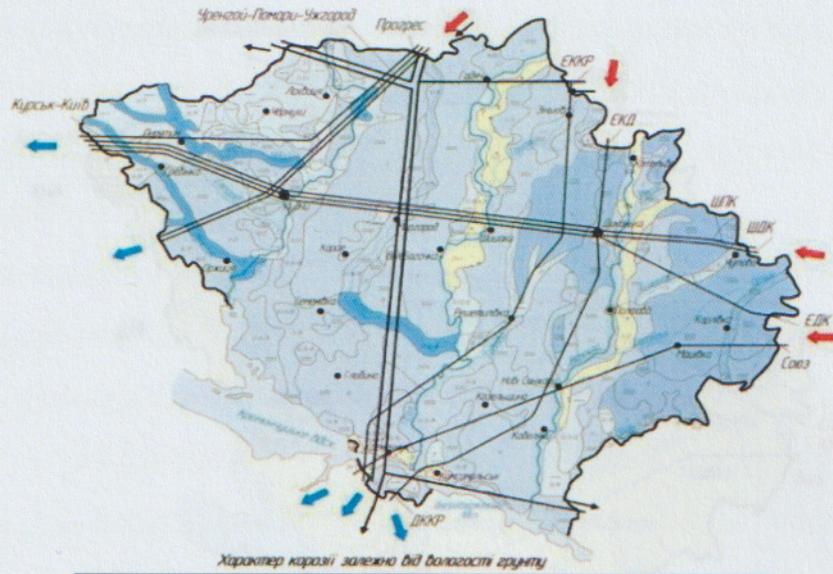
Вплив корозії на ґрунти вивчала та досліджувала Степова О. В. у роботі «Розрахунок швидкості корозії підземних нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавської області». В цій роботі на основі моделювання електрохімічної корозії сталі розроблено залежність, що дає змогу розрахувати втрату площу перерізу сталевого магістрального нафтопроводу в тріщині ізоляційного покриття. Залежність

базується на реальних параметрах, отриманих неруйнівним методом при обстеженні конструкцій [29].

Хоч багато науковців займалися впливом СВБ на зовнішню поверхню нафтопроводу, але ще не було досліджено їх вплив в ґрунтах на території Полтавської області, що і стало метою магістерської роботи.

1.4 Аналіз умов експлуатації підземних нафтопроводів у Полтавській області

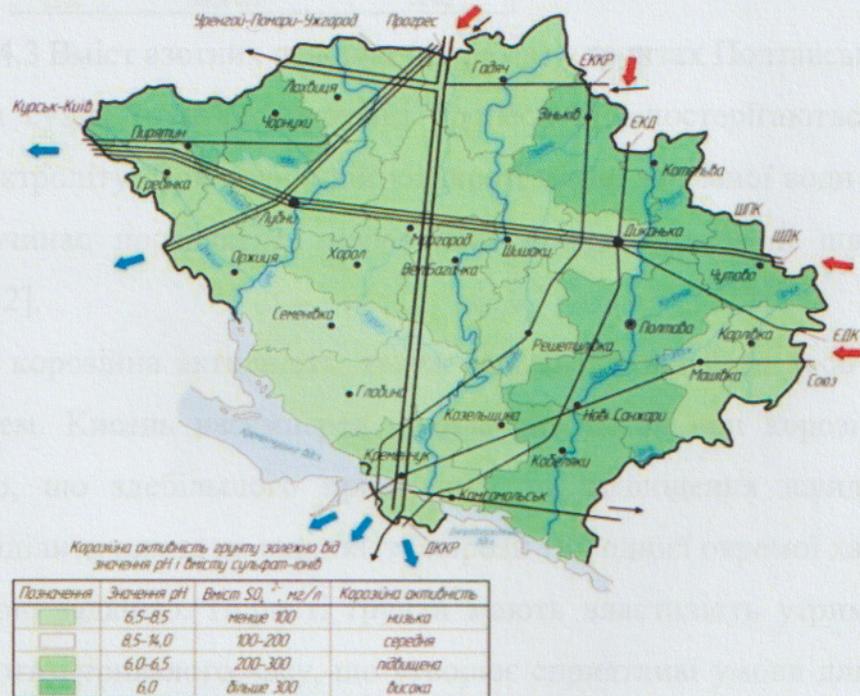
Багато вчених присвятило свої праці питанням щодо безпечної експлуатації нафтопроводів та їх екологічної безпеки. М. В. Беккер, при проведенні дослідження нафтотранспортної системи України, зазначив, що її довготривала робота і безпечне використання можливе тільки при належному науково-технічному забезпеченні. На його думку, що проблема надійності нафтотранспортної системи повинна займати одне з провідних місць у національному і міжнародному законодавстві [30]. В. В. Рогознюк та Ю. О. Кузьменко розглядали електрохімічну корозію, а також особливості ґрунтової корозії та вивчили корозійні умови на просторі України. Крім цього вони окреслили фактори надійності нафтопроводів. С. В. Корнієнко та О. М. Корбутяк займаються дослідженням ресурсів підземно геологічної території України та процесу корозії магістральних нафтопроводів у ґрунтовому середовищі, а також аналізують проблеми використання підземних об'єктів і стан лінійної ділянки нафтотранспортної системи України [31]. На корозійну активність ґрунтів значний вплив здійснює вологість.



Характер корозії залежно від вологості ґрунту

Позначення	Вологість ґрунту, %	Характеристика ґрунту	Характеристика швидкості корозії
□	0	ґрунт сухий	Корозії немає
□	10-12	Збільшення вологості до критичного значення	Збільшення швидкості корозії до максимальної величини
□	12-25	Збереження критичного значення вологості	Можливе досягнення максимальної швидкості корозії
□	25-40	Утворення суцільного шару води	Зниження швидкості корозії
□	Свіше 40	Збільшення товщини суцільного шару води	Невисока постійна швидкість корозії

Рис.1.4.1 Вологість ґрунту Полтавської області



Корозійна активність ґрунту залежно від значення рН і вмісту сульфат-іонів

Позначення	Значення рН	Вміст SO ₄ ²⁻ , мг/л	Корозійна активність
□	6,5-8,5	менше 100	низька
□	8,5-14,0	100-200	середня
□	6,0-6,5	200-300	підвищена
□	6,0	більше 300	висока

Рис.1.4.2 Вміст сульфат-іонів у ґрунтах Полтавської області

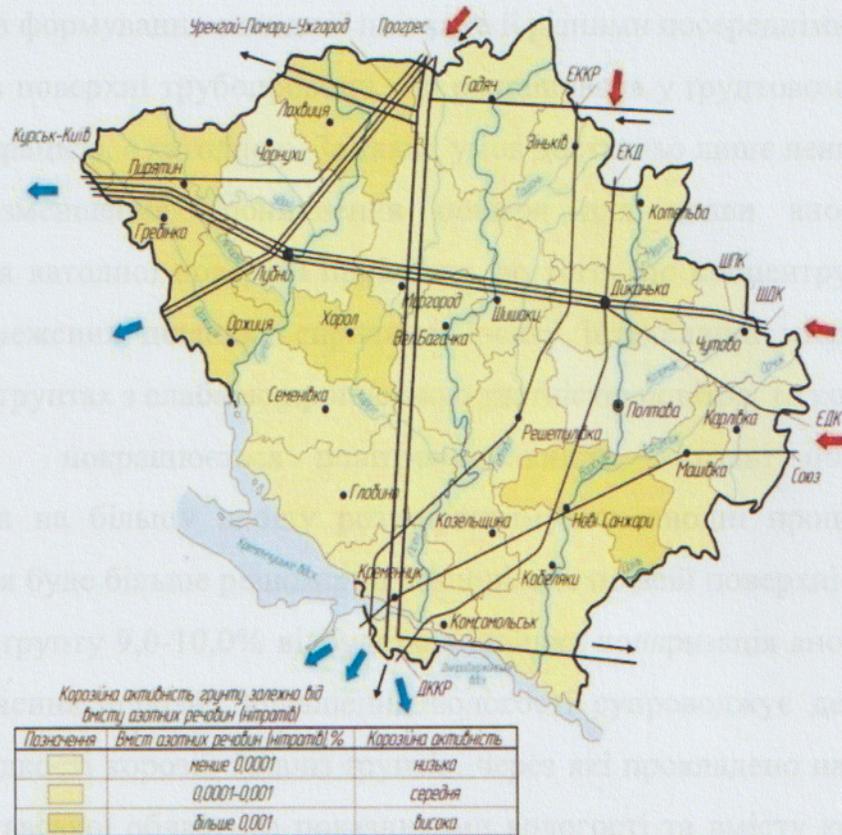


Рис.1.4.3 Вміст азотних речовин (нітратів) у ґрунтах Полтавської області

У цілком сухих ґрунтах корозійні процеси не спостерігаються за рахунок відсутності електроліту. При невеликій кількості міцно зв'язаної води в ґрунтовому середовищі починає проявлятися корозійний процес, однак її швидкість буде мінімальною [32].

У ґрунту корозійна активність, також залежить і від його насичення газами, особливо киснем. Кисень насамперед впливає на метал при корозії з кисневою деполяризацією, що здебільшого призводить до підвищення швидкості корозії. Здебільшого виділити вплив на швидкість корозії цієї однієї окремої характеристики ґрунту є важкою задачею. Пористі ґрунти мають властивість утримувати у собі вологість на протязі тривалого часу, що утворює сприятливі умови для їх аерації. В пористих та вологих ґрунтах швидкість корозії, зазвичай, спочатку є підвищеною. А далі залежність між швидкістю корозії та ґрунтовою пористістю ускладнюється, через продукти корозії, які формуються в керованих ґрунтах, тому що вони можуть мати підвищену захисну властивість, ніж продукти, що сформувалися у некерованих ґрунтах. Вплив аерація відбувається на корозійний процес не тільки через прямий

вплив кисню на формування оксидної плівки, а й різними посередніми шляхами [33]. Більша ділянка поверхні трубопроводу, що розташована у ґрунтовому середовищі з підвищеною аерацією, є катодною. За таких умов достатньо лише невеликої місцевої зміни рівня зменшення проникнення повітря для появи анодних ділянок. Перевищування катодної поверхні приводить до того, що концентрування процесу корозії на обмежених ділянках спричиняє появу інтенсивної місцевої корозії. І протилежно, у ґрунтах з слабкою пропускнуою здатністю повітря, то коли з'являються місцеві зміни покращується повітропроникність, катодні поверхні будуть обмеженими, а на більшу площу розподілятимуться анодні процеси. У такому випадку корозія буде більше рівномірно розподілена по всій поверхні нафтопроводу. При вологості ґрунту 9,0-10,0% відбудеться швидка поляризація анодного процесу, тобто уповільнення корозії. Збільшення вологості супроводжує деполіаризацію – зростання швидкості корозії. Аналіз ґрунтів, через які прокладено нафтопроводи на території Полтавської області за показниками вологості та вмісту кисню, дозволяє зробити висновок про те, що є всі умови для протікання корозійних процесів на ділянках нафтопроводів дуже великий.

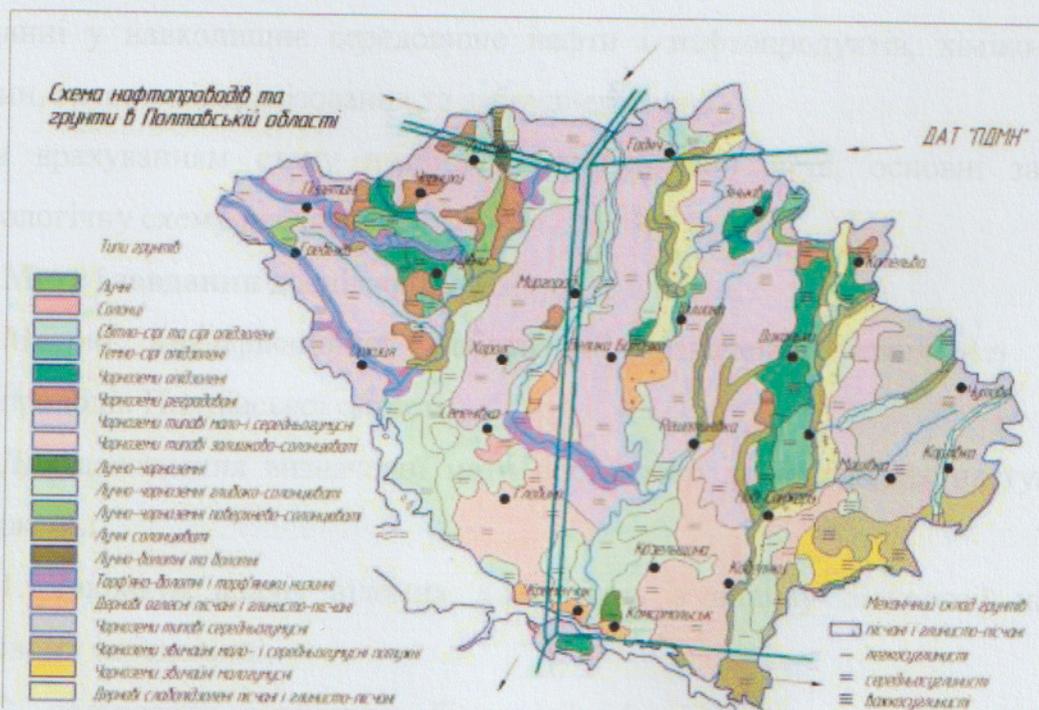


Рис.1.4.4 Карта корозійної активності ґрунтів Полтавської області з урахуванням типу та механічного складу

Результати аналізу карти корозійної активності ґрунтів Полтавської області з урахуванням типу та механічного складу доводять, що магістральні нафтопроводи проходять через неоднакові ґрунти за механічним складом, що створює можливість розвитку та протікання корозійних процесів.

Таким чином, на Полтавщині існують всі умови для розвитку і протікання корозійних процесів на ділянках нафтопроводів, оскільки вони мають значну протяжність та експлуатуються в середовищах, які характеризуються різноманітністю едафічних показників, що значно впливає на корозійний стан сталевих нафтопроводів [34].

1.5 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра

На основі проведеного огляду можливо зробити такі висновки:

За результатами аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань запобігання розгерметизації нафтопроводів за причиною зовнішньої корозії встановлено, що економічні збитки від руйнувань обладнання та трубопроводів викликані корозією металів є великими. Насамперед вони є значними у видобувній промисловості. Більше того, вони є причиною неабияких економічних збитків при попаданні у навколишнє середовище нафти і нафтопродуктів, хіміко-токсичних речовин, високо мінералізованих та забруднених вод.

Із врахуванням стану питання сформульовані мета, основні завдання та методологічну схему досліджень.

Мета і завдання досліджень.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення швидкості біокорозії нафтопроводів Полтавської області.

Для досягнення визначеної мети поставлено до вирішення наступні **задачі досліджень:**

1. виконати аналіз відомих досліджень з впливу біокорозії на сталь в ґрунтовому середовищі;
2. встановити залежність біокорозії від фізичних показників ґрунтового середовища;

3. розробити математичну модель інтенсивності біокорозії сталі в ґрунтових умовах Полтавської області з дотриманням вимог безпечної експлуатації;

4. розрахувати швидкість біокорозії за запропонованою моделлю.

Об'єкт дослідження – процес зовнішньої біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційного джерела забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів.

Предмет дослідження – кількісні показники біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційного джерела забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає: *вперше* запропоновано математичну модель інтенсивності біокорозії сталі в ґрунтових умовах Полтавської області з дотриманням вимог безпечної експлуатації, що дозволяє встановити найбільш корозійно небезпечні ділянки.

Практичне значення одержаних результатів роботи.

Отримані результати наукової роботи будуть використані при розробці та впровадженні нових лекційних курсів при викладанні навчальних дисциплін «Техноекологія», «Моделювання та прогнозування стану довкілля» для студентів спеціальностей 101 Екологія, 183 Технології захисту навколишнього середовища.

Пропонується врахувати результати кваліфікаційної роботи при обстеженнях нафтопроводів на території Полтавської області;

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій кваліфікаційної роботи забезпечуються відповідністю поставлених задач обраній методології та методикам досліджень; обґрунтованим вибором припущень і обмежень.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на двох конференціях різних рівнів:

1. Серга Т.М., Бондар О. Екологічні ризики при транспортуванні вуглеводневої сировини. *Матеріали XXII Міжнародної наукової конференції «Екологія. Суспільство. Молодь»*, Київ, НУУ, КПІ.

2. Олена Степова, Оксана Бондар, Карина Белоконь, Вікторія Єрмоєнко. Запобігання наслідкам розгерметизації сталевих нафтогазопроводів. Підсумкова науково-практична конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузі «Пожежна безпека» та «Цивільна безпека (Цивільний захист)», 15.04.2021, Харків, НУЦЗУ

3. Степова О. В., Бондар О. В. Заходи запобігання розгерметизації сталевих нафтогазопроводів. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів: Збірник матеріалів Київ: Яроченко Я. В., 2022. С. 122-123

4. Степова О. В., Бондар О. В., Далявська С. І., Мальований М. С. Моніторинг індикаторів біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів: Збірник матеріалів Київ: Яроченко Я. В., 2022. С. 256-257

5. Степова О. В., Бондар О. В., Куш О. Ю., Степовий Д. Є. Дослідження біокорозійних процесів у ґрунтовому середовищі. Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах нежзвичайних ситуацій» (Україна, Полтава – Львів, 26-27 травня 2022 року) С. 561-563

6. Степовий Є., Бондар О., Степовий Д. Врахування умов розвитку корозійних процесів на ділянках нафтогазопроводів. Матеріали II Всеукраїнської інтернет-конференції «Стратегія сталого розвитку України: сьогоднішня та перспективи», присвяченої 30-річчю кафедри екології, технологій захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, 22 вересня 2022р.

7. Степова О. В., Задорожна С. О., Бондар О. В., Степовий Д. Є. Дослідження біокорозійних процесів у ґрунтовому середовищі. Матеріали III Міжнародної інтернет-конференції «Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти», 25.02.2022, Харків, ХНІ імені В. Н. Каразіна

8. Степова О.В., Бондар О.В., Степовий Д. Врахування умов експлуатації нафтопроводів щодо оцінки біокорозійних процесів. *Матеріали Міжнародної наукової конференції за участі молодих науковців «Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування», 21-22.09.22, м. Одеса, ОДЕКУ*

9. Степова О., Степовий Є., Бондар О., Степовий Д., Кальна М. Аналіз інтенсивності показників корозії у ґрунтових умовах Полтавщини. *Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Environment recovery and reconstruction: war context 2022», 17-18.11.2022 м. Полтава*

10. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», 1-2 грудня, 2022 р.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури із 42 найменувань. Робота викладена на 79 аркушах. Графічна частина роботи містить 13 аркушів формату А3.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІЖЕННЯ

2.1. Об'єкти дослідження

У роботі використовувалися наступні ґрунти : чорнозем типовий, супісок і торф, який відібраний на території Полтавської області. Ґрунт відбирали на глибині 5 та 60 см від поверхні.

Характеристика ґрунтів:

Чорноземи займають близько 60% території України та близько 25% у світі, значну зону степу та лісостепу. На території України поширено п'ять підтипів чорноземів залежно від ґрунтоутворюючих порід, умов клімату та рослинності. У Полтавській області домінують типові чорноземи із вмістом гумусу 6-9% і мають найбільшу потужність та найбільшу родючість [35].

Торф'яні ґрунти відносяться до підтипу болотних ґрунтів, які формуються при надмірному зволоженні ґрунтовими водами та атмосферними опадами, через близьке залягання підґрунтових вод або застою поверхневих вод, наявністю болотної або вологолюбної рослинності. Властивості торф'яних ґрунтів сильно залежать від зольності та рівня розкладання торфу. Тому вони мають досить суттєві відмінності. Кислотність пов'язана з наявністю зольних елементів: реакція низинного торфу може бути або слабкислою, або нейтральною, іноді навіть слаболужною, а при зволоженні верхового торфу жорсткими водами має більш високу кислотність.

Супіски —це пухка піщано-глиниста осадова гірська порода, що складається на 90-70% з алеврито-піщаних частинок і 30-10% з глинистих частинок, що мають розмір менше 0,005 мм. У порівнянні з суглинками вони менш еластичні і мають менше тонкодисперсних частинок відповідно і більший відсоток уламкових порід. Розрізняють дрібнопіщані, пиляні та грубі супіски залежно від вмісту піщаних зерен відповідного розміру та пилюватих частинок [36].

2.2. Методи дослідження

2.2.1. Метод відбору ґрунтових проб

Відбір та підготовка проб ґрунту проводився за ДСТУ ISO 11464-2001-2001 «Якість ґрунту. Попередня обробка зразків для фізико-хімічного аналізу та РД 52.18.156-88 «Методи відбору представницьких проб ґрунту, що характеризують просторове забруднення с/г угіддя остаточними кількостями пестицидів».

Метод конверта заключається у відборі 5 проб ґрунту по кутах умовного конверту, який має розмір 1 x 1 метр.

Відібрані проби цим методом мають загальну вагу 1 кг, який пересипають у крафт-папір, далі його механічно перемішують і відповідно до методу квартування забирають одну об'єднану пробу, вагою від 200 до 300 грам.

Для того щоб прискорити процес висушування подрібнюють великі грудочки (більше 15мм) вручну, за допомогою ступки з товкачем.

Висушені зразки потрібно подрібнювати, якщо він висох грудочками. Якщо сушіння проходить на повітрі шар ґрунту не має бути більше ніж 15 мм. Забороняється допускати потрапляння сонячних променів на зразок ґрунту при сушінні на повітрі, адже прямі сонячні промені спричиняються температурні перепади, особливо між майже сухим верхнім і вологим нижніми шарами.

Після сушіння ґрунтову пробу подрібнюють грудочки і видаляють включення, які мають розмір більший за 2 мм, – камінчики, шматочки скла, корінці та інші предмети. Зайві включення видаляють просіюванням (після роздроблення грудочок) через сито з осередками 2 мм.

При зберіганні проб ґрунту його потрібно оберегати від потрапляння прямих сонячних променів[37].

2.2.2. Методи визначення наявності сульфатів

Даний метод заключається в проведенні якісної реакції на наявність сульфатів. Він полягає в тому, що до водної витяжки ґрунту додають барій хлор і якщо у ній присутні сульфати, то при нагріванні утвориться білий осад.

Необхідне обладнання для проведення досліду: колба для водної витяжки, лійка, фільтрувальний папір, піпетка, пробірка, штатив для пробірок, пробіротримач, спиртівка.

Етапи проведення досліду:

- 1) в суху, чисту колбу насипають 20–30 г досліджуваного ґрунту ;
- 2) до проб доливають дозатором по 150 см³ дистильованої води;
- 3) ґрунт з водою перемішують протягом 3 хв за допомогою мішалки і залишають на 5 хв для відстоювання;
- 4) у лійку поміщають подвійні складчасті фільтри. Край фільтра повинен розташоватися на 0,5 – 1 см нижче краю. Для того щоб не порвати фільтр струмінь суспензії направляють на бічну стінку воронки. Мутні фільтрати перефільтровують[26];
- 5) отриману водну витяжку переливаємо до пробірки;
- 6) до пробірки додається 1мл BaCl₂;
- 7) за допомогою пробіротримача та спиртівки нагріває пробірку і кип'ятимо протягом однієї хвилини.

За кількістю білого осаду BaSO₄ відмічають приблизний вміст SO₄²⁻ : немає, мало, багато, дуже багато.

2.2.3. Визначення швидкості корозії сталі в середовищах ґрунту

Для оцінки впливу певного типу ґрунту на швидкість корозії сталі використано ваговий метод.

Для цього відібрано проби 4-х типів ґрунту на території Полтавської області, а саме: чорнозем, супісок та торф. Грудки ґрунту розтерли товчачиком із гумовим наконечником у порцеляновій ступці. На лабораторних технічних вагах зважено 100 г повітряно-сухого розтертого ґрунту кожного типу та додано відповідно по 20 мл дистильованої води у кожену пробу.

Для проведення експерименту було заготовлено 6 сталевих елементів зразків у вигляді прямокутних пластин товщиною від 1 до 3 мм. Поверхню сталевих зразків перед дослідженням в лабораторних умовах очищено від іржі і інших забруднень. Для цього зразки шліфувались, полірувались тонким абразивним матеріалом до повного

Налаштування рН-метра проводять за трьома буферними розчинами з рН 4,01, 6,86 і 9,18, приготованим із стандарт-титрів. Показання приладу зчитують не раніше ніж через 1,5 хв після занурення електродів у середовище, що вимірюється, після припинення дрейфу вимірювального приладу. Під час роботи налаштування приладу періодично перевіряють буферним розчином з рН 6,86 [37].

2.2.5.Методика проведення повного факторного експерименту

Метою використання ПФЕ є побудова математичної регресійної залежності, що поєднує відмінні технологічні чи різні чинники з параметром, який потрібно визначити. Його ще називають функцією мети. Чинники – це параметри, що впливають істотно зміна функцій мети. Отже, зазначене регресійне рівняння повинне пов'язувати між собою усі перелічені фактори. Його побудова відбувається за рахунок статистичної обробки результатів експериментів, що проводяться в строгих регламентованих послідовностях і комбінаціях значень факторів. Чинники повинні відповідати певним певним властивостям у тому, щоб вони у рівнянні повністю відтворювали реальний фізичний процес, який досліджується. Оскільки застосовується поліном першого ладу, то план такого експерименту називають планом першого ладу.

Значення факторів кодуються ще під час планування експерименту. Воно відбувається через лінійне переведення координат факторного простору із переведенням початку координат у нульову точку та вибором масштабів по осях в одиницях інтервалів варіювання факторів. Застосовують таке співвідношення:

$$x_i = \frac{c_i - c_{0i}}{\mu} \quad (2.5)$$

де x_i – безрозмірна величина, вона є кодованим значенням фактора;

$c_i - c_{0i}$ – натуральні значення фактора (відповідно поточне значення і на нульовому рівні);

μ - натуральне значення інтервалу варіювання факторів .

Виходять так, що значення факторів, рівні +1 (верхній рівень) і -1 (нижній рівень).

Таблиця 2.1

Приклад побудови матриць планування $k = 2$

Номер Дослідів	X1	X2	y
1	+1	+1	y ₁
2	-1	+1	y ₂
3	+1	-1	y ₃
4	-1	-1	y ₄

Після побудови матриці планування проводять експеримент. Після отримання експериментальних даних проводять розрахунок значення коефіцієнтів регресії.

Показник вільного члена (a_0) обирають як середнє арифметичне всіх значень параметра оптимізації в матриці:

$$a_0 = \frac{\sum_1^N y_u}{N} \quad (2.6)$$

де y_u - показник параметра оптимізації у u -м досліді;

N – кількість дослідів проведених у матриці.

Лінійні коефіцієнти регресії визначають за формулою:

$$a_i = \frac{\sum_1^N x_{iu} y_u}{\sum_1^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_1^N x_{iu} y_u}{N}, \quad (2.7)$$

де x_{iu} - кодоване значення фактора x_i в u -му досліді.

Коефіцієнти регресії, які встановлюють парну взаємодію факторів, знаходять за формулою:

$$a_i = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} y_u}{\sum_1^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} y_u}{N}, \quad (2.8)$$

Коефіцієнти регресії для матриці планування, знаходять за формулами:

$$a_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}; \quad (2.9)$$

$$a_1 = \frac{+y_1 - y_2 + y_3 - y_4}{4}; \quad (2.10)$$

$$a_2 = \frac{-y_1 - y_2 + y_3 + y_4}{4}. \quad (2.11)$$

Рівняння регресії для $k = 2$:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (2.12)$$

У кінцевому підсумку, можна узагальнити, що планування, проведення та обробка результатів повного факторного експерименту складається з наступних етапів:

- відбір залежних і незалежних змінних (факторів) та їх кодування;
- реалізація дослідів у випадковому порядку;
- втілення плану експерименту;
- розрахунок коефіцієнтів моделі та оцінка їх значимості;
- перевірка адекватності одержаної моделі. [38].

2.2.6. Математична обробка експериментальних даних

Математичну обробку результатів експериментів проводили за схемою приведеною у роботі [39].

Загальну, абсолютну та випадкову похибку вимірювань визначали за схемою, приведеною у роботі [40].

Для визначення випадкової похибки визначали середнє арифметичне значення вимірювань та середнє арифметичне відхилення вимірювань.

Обчислення середнього арифметичного значення вимірювання проводили за формулою:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.13)$$

Середнє арифметичне відхилення від істинного або середнього значення розраховували так:

$$S_n = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n} \quad (2.14)$$

Для кінцевої вибірки випадкова похибка визначалася за формулою:

$$v(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1) \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}} \quad (2.15)$$

При малому числі спостережень ($n < 20$) використовували поправочні коефіцієнти, отримані на основі розподілу Стюдента

$$v(x_i) = \zeta \sqrt{\frac{1}{n(n-1) \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}} \quad (2.16)$$

де ζ – коефіцієнт Стюдента, який враховує довірчу ймовірність (p) і кількість вимірювань n , табличні значення.

При проведенні розрахунків задавалися значенням $p=0,95$.

Невизначена помилка виникає внаслідок неідеальної точності ($\delta_{пр}$), інструментів і датчиків ($\delta_{дат}$), а також при округленості констант і довідкових даних ($\delta_{окр}$), тому дослідно-інструментальну похибку визначають за такою формулою:

$$\delta_{их} = \sqrt{\delta_{дат}^2 + \delta_{пр}^2 + \delta_{окр}^2} \quad (2.17)$$

Загальна абсолютна похибка експерименту визначалась з урахуванням вимірювань випадкової та інструментальної похибки:

$$\tau(x) = \sqrt{\theta^2(x_i) + \delta^2(ux)} \quad (2.18)$$

Відносну похибку визначали так:

$$\varepsilon_x = \frac{\tau(x)}{x} \cdot 100, \% \quad (2.19)$$

В розділі наведені відомості про об'єкти та методи їх дослідження. Представлені характеристики ґрунтів в яких відбувається корозія сталевих нафтопроводів. Описані методи що застосовуються в експерименті для визначення наявності сульфатів, рН і швидкості корозії сталі в ґрунтовому середовищі та методика планування повного факторного експерименту.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ІНТЕНСИВНОСТІ БІОКОРОЗІЇ НАФТОПРОВІДІВ В ГРУНТОВИХ УМОВАХ ПОЛТАВЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1 Показники інтенсивності біокорозії

Основна мета досліджень швидкості корозії – визначення довговічності металу нафтогазового устаткування умовах впливу агресивної середовища. Характеристику та постановку завдань та цілей корозійних досліджень було сформульовано Г.В. Якимовим:

- 1) визначення механізму процесу корозії (хімічний, електрохімічний чи змішаний);
- 2) визначення корозійно-агресивного компонента середовища (O_2 , CO_2 , водяні пари і т.д.), що викликає хімічну корозію металу, або деполяризатора (O_2 , H^+ та ін), що призводить до електрохімічної корозії металу;
- 3) встановлення контролю корозійного процесу.

Практичною метою корозійних випробувань є отримання даних щодо застосованих методів та засобів захисту від корозії в обсязі, достатньому для прогнозування та оцінки ресурсу та надійності роботи машин, конструкцій, обладнання, споруд за показником корозійної стійкості. За загальним характером досліджень методи випробувань поділяються на три групи:

- лабораторні дослідження зразків металів у штучно створюваних умовах;
- стендові випробування зразків, деталей та вузлів, макетів у природних або експлуатаційних умовах на спеціальних стендах або в дослідно-промислових установках;
- експлуатаційні перевірки споруд, машин, апаратів у експлуатаційних умовах.

Зазвичай корозійні дослідження проводять у зазначеній послідовності, особливо при розробці нових металів та засобів захисту від корозії.

За тривалістю досліджень розділяються на 2 групи:

- 1) тривалі та ті, є відповідні за тривалістю випробувань експлуатаційним;

2) прискорені, проведені штучних корозійних середовищах.

Корозійні випробування здебільшого є порівняльними дослідницькими випробуваннями, які можна поділити на такі групи:

- випробування в природних умовах (в атмосфері, у природних водах, у ґрунтах та ґрунтах);

-випробування у робочих (технологічних) середовищах[41].

Величини по яким визначають швидкість корозійного руйнування металу, називають показником корозії. Вони можуть бути якісними та кількісними. За допомогою них визначити інтенсивність несприятливих змін. Для цього застосовують поняття «швидкість корозії металу».

Якісні показники корозії :

1) спостереження за зовнішнім вигляду зразків із фотографуванням, замальовкою або коротким описом, та дотримання змін у корозійному розчині;

2) мікроскопічне дослідження, у тому числі проведення макроструктурного аналізу;

3) використання кольорових індикаторів, за допомогою яких виявляють анодні та катодні ділянки поверхні металу корозії.

Кількісні показники характеризують втрату маси, глибину корозії. Втрата маси може виражатися в $г/(м^2 \times год)$, глибини в мм/рік. Швидкість корозії може бути виражена також в електричних одиницях $A/м^2$. В якості показника корозії може бути час до появи перших проявів корозії, їх глибина корозії, час до появи тріщин або руйнування зразка, зміна електричних, механічних, та інших властивостей.

Індикатори корозії встановлюють за такими кількісними характеристиками як: площа поверхні, що кородує; сумарна втрата маси; зміна щільності; час буття деталі або конструкції в корозійному середовищі; зменшення товщини.

Крім того, кількісними критеріями для судження про характер корозії сталі за певний період часу можуть бути:

- абсолютні втрати від корозії за площею;

-зміна лінійних розмірів;

- стійкість до лінійної корозії; швидкість корозії;
- лінійна швидкість корозії (мм/рік);
- загальна стійкість до корозії або довговічність.

До кількісних показників відносять:

- ваговий показник корозії, його визначають за співвідношенням втрати маси до поверхні зразка за одиницю часу:

$$K_{ваг} = \frac{g_0 - g_1}{S_0 \tau}, \text{ г/см}^2 \times \text{год} \quad (3.1)$$

де g_0, g_1 – вага сталевого зразка до і після корозії, г;

S_0 – площа поверхні аноду, см^2 ;

τ – час проведення дослідів, годин.

- глибинний показник корозії, він застосовується при оцінці як суцільної так і місцевої корозії та визначається за формулою:

$$K_z = K_m \times 8,76 / \rho_m, \quad (3.2)$$

де ρ_m – щільність металу.

- об'ємний показник швидкості корозії ($K_{об}$) можливо визначити за об'ємом виділених газів по відношенню до поверхні зразка за визначений проміжок часу;

- струмовий показник швидкості корозії i (корозійний струм або густина корозійного струму):

$$i = K_m \frac{n}{A} 26,8 \times 10^{-4} \quad (3.3)$$

n – валентність іону металу, що переходить в розчин;

A – атомна маса металу;

26,8 – стала Фарадея, А•год.

Крім вищенаведених є інші математичні моделі руйнування сталі трубопроводів під дією різноманітних факторів навколишнього середовища інших авторів і вчених, але в основному вони в дечому подібні та схожі. Це виявляється через те, що у моделі входять багато різноманітних поправкових коефіцієнтів, які

враховують вплив лише деякі фактори навколишнього середовища і є правдивими лише для трубопроводів, що не зазнають локального агресивного впливу.

Так, наприклад, у разі нерівномірно місцевої корозії металу обрання показника корозії має вагомий вплив. Точкова корозія кількісно може бути виражена лише за допомогою показника, що вказує схильності до корозії, осередкового та глибинного показників корозії. За допомогою глибинного показника при мікродослідженні, показника міцності та зміни в зразках електричного опору може бути встановлена і кількісно виражена наявність міжкристалітної корозії металу [42].

Отже, необхідність розробки залежностей, які б враховували впливи навколишнього середовища, в тому числі і локальні, особливості експлуатації нафтопроводів та інші можливі фактори, не втрачає своєї актуальності.

3.2 Дослідження едафічних показників ґрунтів та оцінювання їх впливу на корозійний стан нафтопроводів

Для проведення дослідження нами було взято 4 проби ґрунту на території Полтавської області. В кожну пробу ґрунту додано бактеріально зіпсовані (тухлі) яйця, адже в них бактерії циклу сірка, крім цього зразки були в різних умовах. Умови перебування досліджених проб ґрунту наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Умови перебування досліджених проб ґрунту

Умови в яких перебувають досліджені зразки	Тип ґрунту					
	Торф	Чорнозем(2)	Супісок	Торф	Чорнозем(1)	Чорнозем(2)
Анаеробне/аеробне середовище	аеробне	аеробне	Анаеробне	Анаеробне	аеробне	Анаеробне
Температурні умови	тепло			холод		
B ₁₂	-	+	-	-	+	+

Для проведення експерименту було заготовлено 6 сталевих елементів-зразків у вигляді прямокутних пластин. Поверхню сталевих зразків перед дослідженням в лабораторних умовах очищено від іржі і інших забруднень. Для цього зразки шліфувались, полірувались тонким абразивним матеріалом до повного видалення нерівностей. Знежирення проводили етанолом. Спостереження за зразками ґрунту відбувалося 4 місяці. Характеристика пластин та в які умови були розміщені наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Характеристика сталевих пластин які поміщені у відповідний тип ґрунту

Характеристика сталевих пластин	Тип ґрунту та умови його перебування					
	Торф (аеробне тепло, без В ₁₂)	Чорнозем(2) (аеробне, тепло, з В ₁₂)	Супісок (Анаеробне, тепло, без В ₁₂)	Торф (Анаеробне, холод, без В ₁₂)	Чорнозем(1) (аеробне, холод, з В ₁₂)	Чорнозем(2) (Анаеробне, холод, з В ₁₂)
Розміри пластини, мм	75 × 27	35 × 28	40 × 24,5	49 × 40	47 × 40	71 × 26
Товщина пластин, мм	1,5	1,0	2,0	3,0	3,0	1,5
Маса до, г.	28,0960	11,9200	16,5964	43,5618	42,6167	29,0548
Маса після (без шліфування)	26,48	11,29	16,54	43,46	41,53	28,59
Маса після (відшліфованих пластин)	26,22	11,10	16,52	43,39	41,18	28,47

Кожні два тижні проводили моніторинг наявності сульфат-іонів та роказника рН, також ґрунт періодично зволожували для підтримки умов близьких до стану навколишнього середовища. Наявність сульфат-іонів визначали якісною реакцією на сульфат-іони, а показник рН перевіряли індикатором та рН-метром. Після цього заклали сталеві пластини, які перебували у ґрунтовому середовищі ще 4 місяці. Результати спостережень за змінами рН та наявності сульфатів наведені у Додатку А.

В результаті спостережень виявилось, що показник рН зріс, а кількість сульфат-іонів, навпаки, зменшилися. Для кращого встановлення тенденції результати моніторингу наведені у графіках нижче. Для відображення наявності сульфатів переводимо в цифрове значення, де немає це 0, мало -1, багато-2, дуже багато -3.



Рис. 3.1 Динаміка едафічних показників в торфі (тепло, Відкр. без В₁₂)

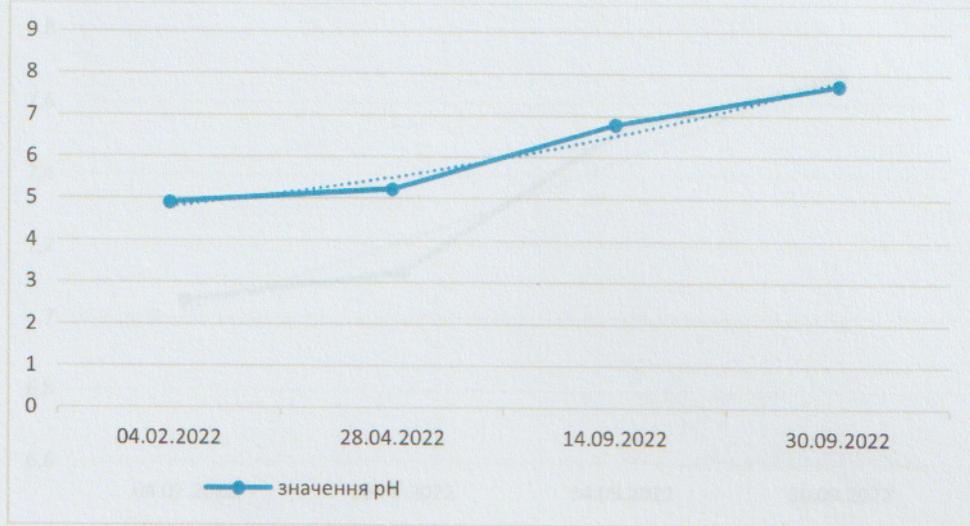


Рис. 3.2 Динаміка едафічних показників в торфі (тепло, Відкр. без B₁₂) за рН-метром

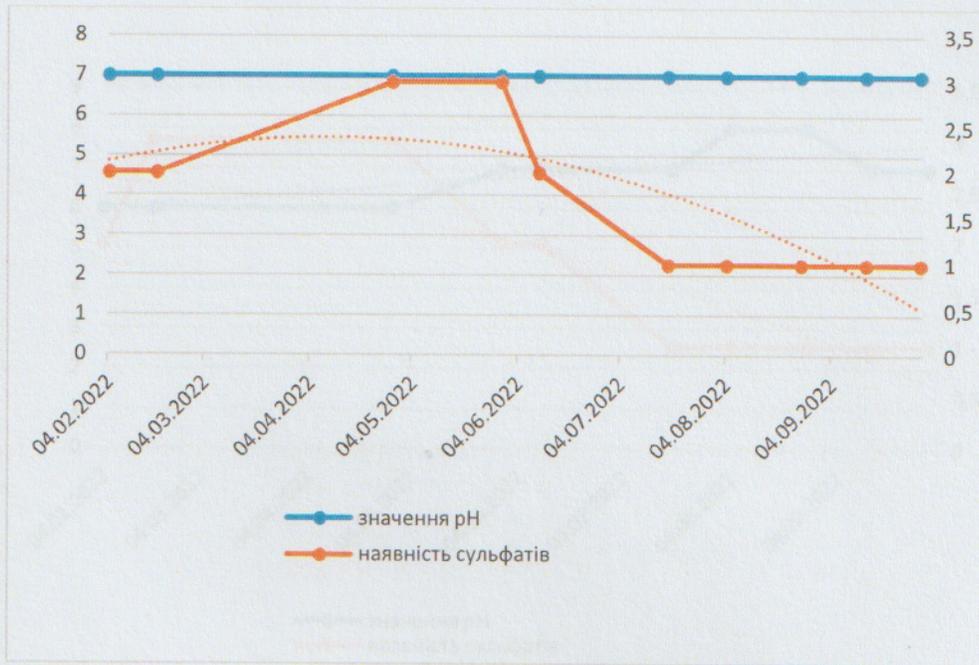


Рис. 3.3 Динаміка едафічних показників у чорноземі (аеробне, тепло, з B₁₂)

Рис. 3.5 Динаміка едафічних показників у сушіску (Аміробне, тепло, без B₁₂)

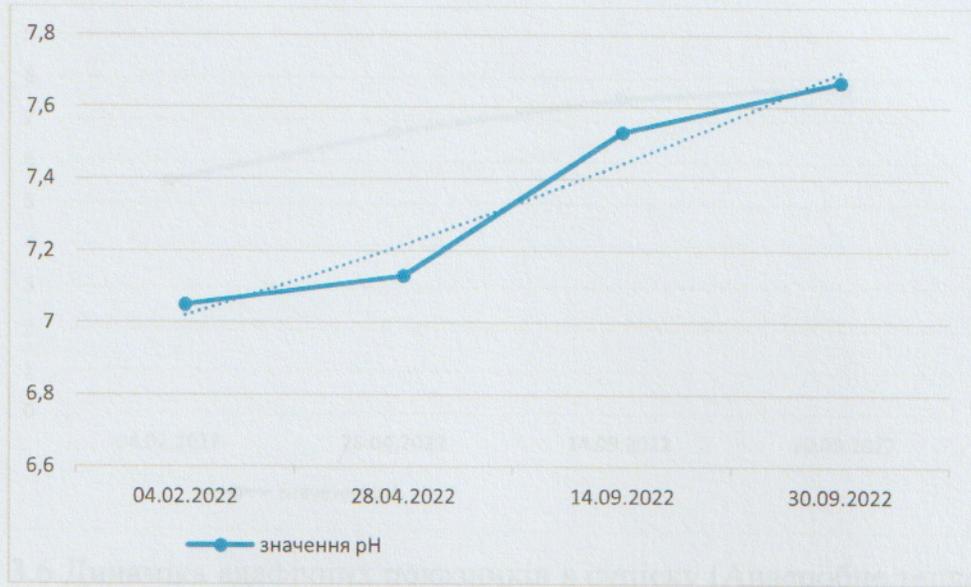


Рис. 3.4 Динаміка едафічних показників у чорноземі (аеробне, тепло, з B_{12}) за рН-метром

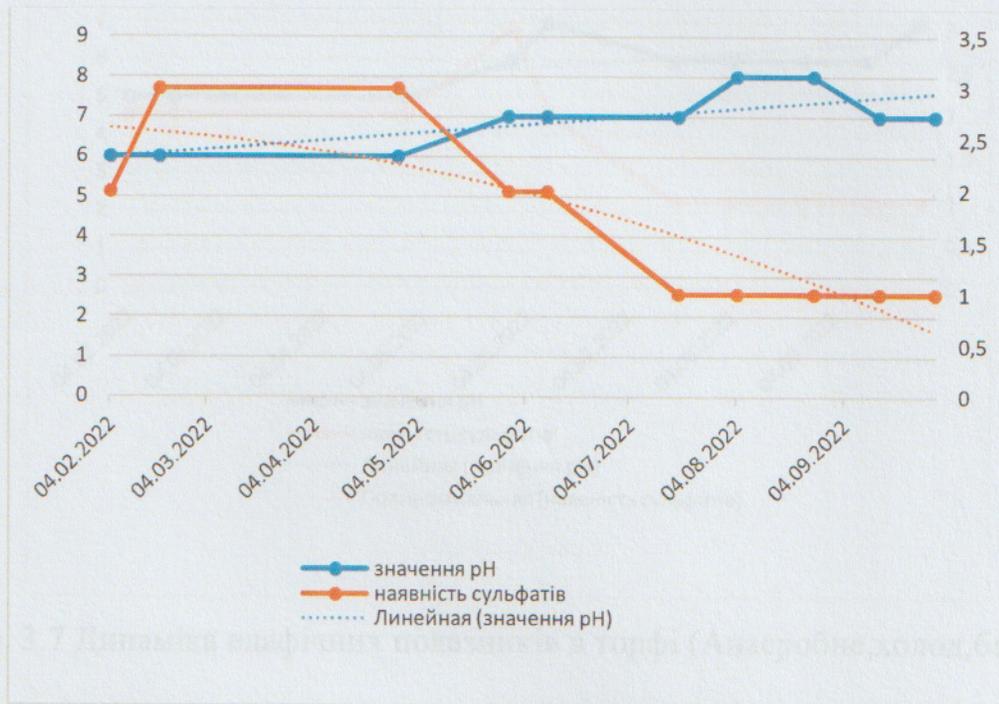


Рис. 3.5 Динаміка едафічних показників у сугліску (Анаеробне, тепло, без B_{12})

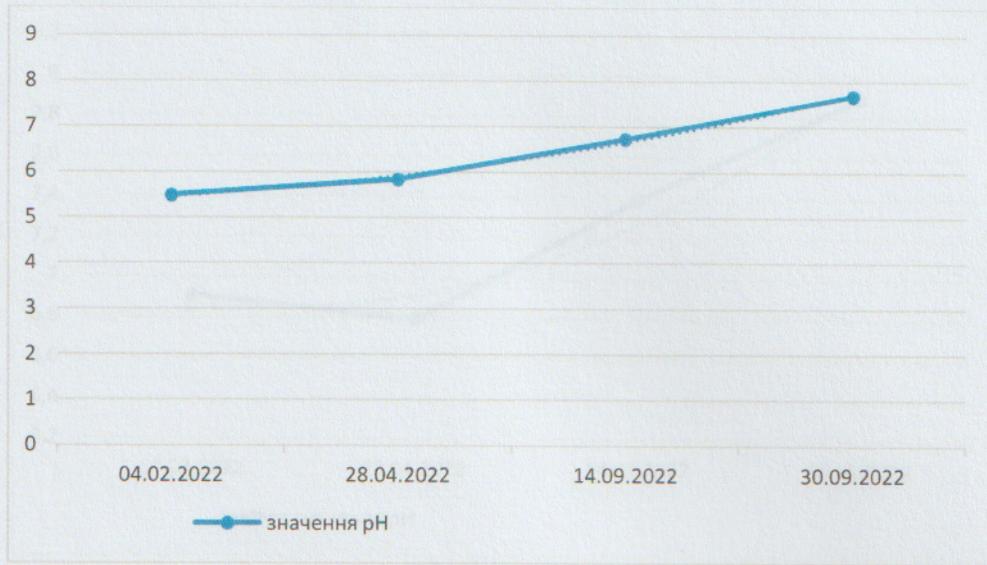


Рис. 3.8 Динаміка едафічних показників в торфі (Анаеробне,холод,без В₁₂) за рН-метром

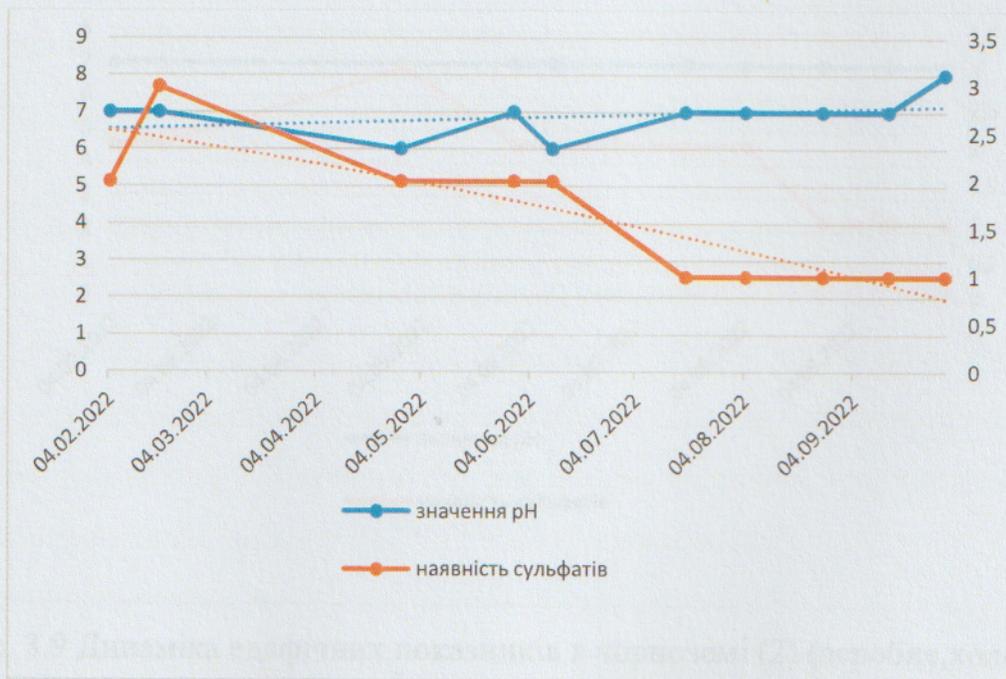


Рис. 3.9 Динаміка едафічних показників в чорноземі (1) (аеробне,холод,з В₁₂)

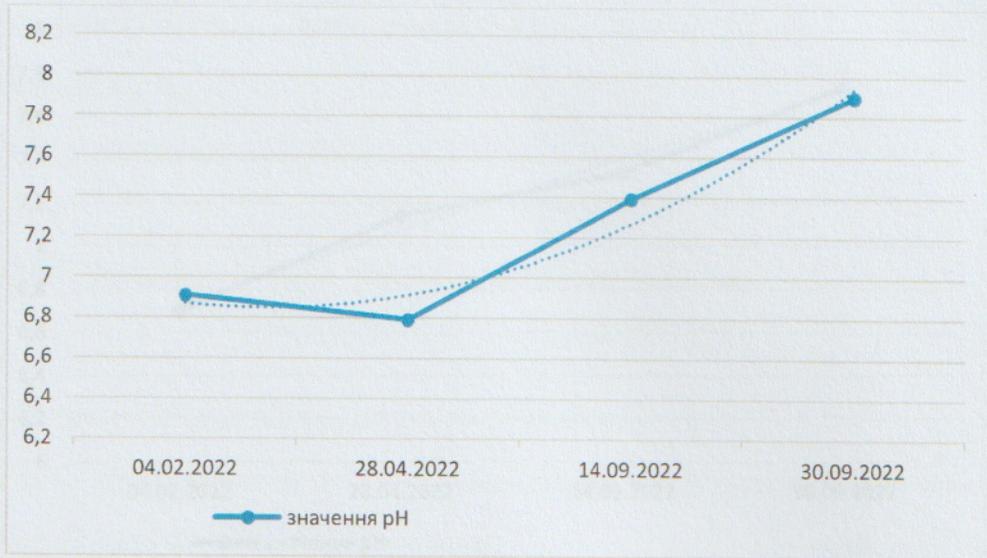


Рис. 3.10 Динаміка едафічних показників в чорноземі (1) (аеробне,холод,з В₁₂) за рН-метром

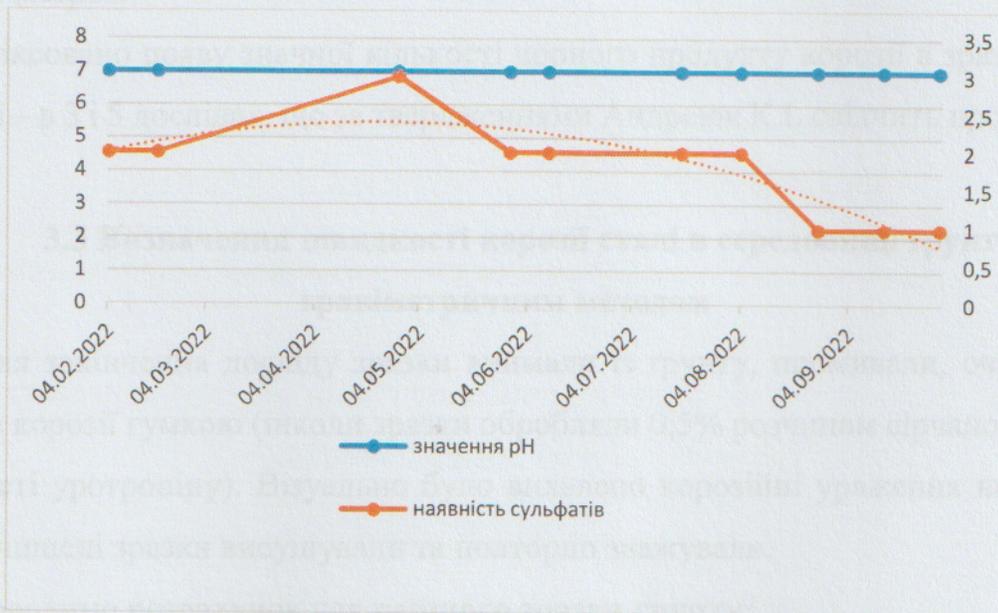


Рис. 3.9 Динаміка едафічних показників в чорноземі (2) (аеробне,холод,без В₁₂)

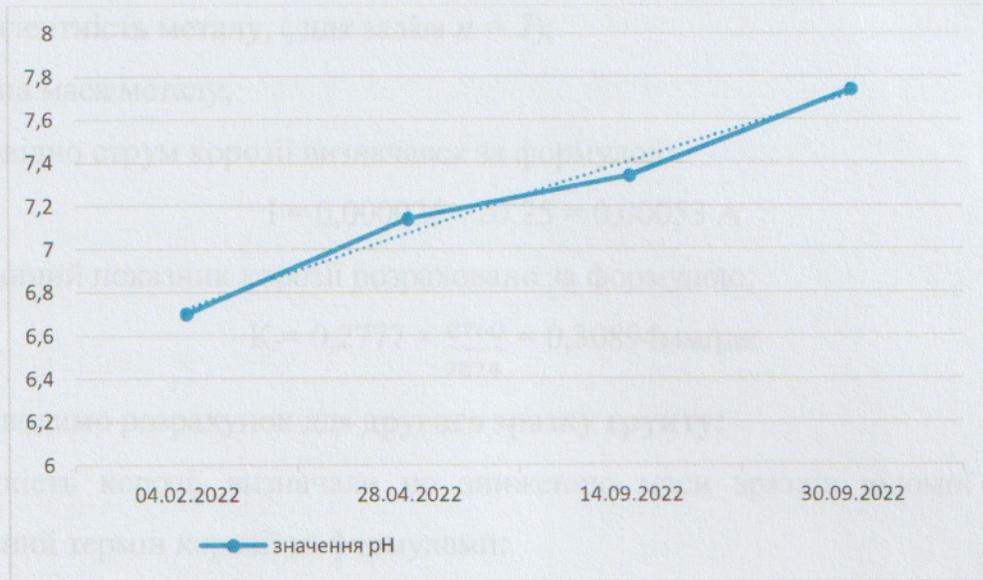


Рис. 3.10 Динаміка едафічних показників в чорноземі (2) (аеробне, холод, без В₁₂) за рН-метром

Зафіксовано появу значної кількості чорного продукту корозії в зразка 1,2,6,4, та меншої – в 3 і 5 дослідях, що за твердженнями Андреюк К.І. свідчить про наявність СВБ.

3.3 Визначення швидкості корозії сталі в середовищі ґрунту за гравіметричним методом

Після закінчення дослідів зразки виймали із ґрунту, промивали, очищали від продуктів корозії гумкою (інколи зразки обробляли 0,5% розчином сірчаної кислоти у присутності уротропіну). Візуально було виявлено корозійні ураження на ділянках зразків. Очищені зразки висушували та повторно зважували.

Проводимо розрахунок для першого зразка ґрунту:

- 1) Швидкість корозії визначали по зниженню маси зразків відомої площі за вибраний термін корозії за формулами:

$$K_{\text{ваг}} = \frac{28,0960 - 26,22}{20,25 \times 2922} = 0,0000317 \text{ г/см}^2 \times \text{год} \quad (0,2777 \text{ г/см}^2 \times \text{рік})$$

$$S_0 = 75 \times 27 = 2025 \text{ мм}^2 = 20,25 \text{ см}^2$$

$$\tau = 4 \text{ місяці} = 2922 \text{ годин.}$$

- 2) Відповідна швидкість корозії в струмових показниках визначалася за формулою:

$$i_p = 0,2777 \times 2,68 \times 10^{-3} \times \frac{2}{55,847} = 0,000026 \text{ А/см}^2$$

де n – валентність металу, (для заліза $n = 2$);

A – атомна маса металу;

3) Відповідно струм корозії визначався за формулою:

$$I = 0,000026 \times 20,25 = 0,00053 \text{ A}$$

4) Глибинний показник корозії розраховано за формулою:

$$K_r = 0,2777 \times \frac{8760}{7874} = 0,30894 \text{ мм/рік}$$

Проводимо розрахунок для **другого зразку ґрунту**:

1) Швидкість корозії визначали по зниженню маси зразків відомої площі за вибраний термін корозії за формулами:

$$K_{\text{ваг}} = \frac{11,9200 - 11,1000}{9,8 \times 2922} = 0,00002863568 \text{ г/см}^2 \times \text{год} (0,258 \text{ г/см}^2 \times \text{рік})$$

$$S_0 = 35 \times 28 = 980 \text{ мм}^2 = 9,8 \text{ см}^2$$

$$\tau = 4 \text{ місяці} = 2922 \text{ годин.}$$

2) Відповідна швидкість корозії в струмових показниках визначалася за формулою:

$$i_p = 0,258 \times 2,68 \times 10^{-3} \times \frac{2}{55,847} = 0,00002407 \text{ А/см}^2$$

3) Відповідно струм корозії визначався за формулою:

$$I = 0,00002407 \times 9,8 = 0,0002358 \text{ A}$$

4) Глибинний показник корозії розраховано за формулою:

$$K_r = 0,258 \times \frac{8760}{1000 \times 7,874} = 0,28703 \text{ мм/рік}$$

Проводимо розрахунок для **третього зразка ґрунту**:

1) Швидкість корозії визначали по зниженню маси зразків відомої площі за вибраний термін корозії за формулами:

$$K_{\text{ваг}} = \frac{16,5964 - 16,52}{4,9 \times 2922} = 0,000005336 \text{ г/см}^2 \times \text{год} (0,0467 \text{ г/см}^2 \times \text{рік})$$

$$S_0 = 40 \times 24,5 = 980 \text{ мм}^2 = 4,9 \text{ см}^2$$

$$\tau = 4 \text{ місяці} = 2922 \text{ годин.}$$

2) Відповідна швидкість корозії в струмових показниках визначалася за формулою:

$$i_p = 0,0467 \times 2,68 \times 10^{-3} \times \frac{2}{55,847} = 0,00000448 \text{ А/см}^2$$

3) Відповідно струм корозії визначався за формулою:

$$I = 0,00000448 \times 4,9 = 0,0000219 \text{ A}$$

- 4) Глибинний показник корозії розраховано за формулою:

$$K_r = 0,0467 \times \frac{8760}{1000 \times 7,874} = 0,05195 \text{ мм/рік}$$

Проводимо розрахунок для **четвертого зразка ґрунту**:

- 1) Швидкість корозії визначали по зниженню маси зразків відомої площі за вибраний термін корозії за формулами:

$$K_{\text{ваг}} = \frac{43,5618 - 43,3900}{19,6 \times 2922} = 0,00000299 \text{ г/см}^2 \times \text{год} \text{ (} 0,02627 \text{ г/см}^2 \times \text{рік)}$$

$$S_0 = 40 \times 49 = 1960 \text{ мм}^2 = 19,6 \text{ см}^2$$

$$\tau = 4 \text{ місяці} = 2922 \text{ годин.}$$

- 2) Відповідна швидкість корозії в струмових показниках визначалася за формулою:

$$i_p = 0,02627 \times 2,68 \times 10^{-3} \times \frac{2}{55,847} = 0,00000252 \text{ А/см}^2$$

- 3) Відповідно струм корозії визначався за формулою:

$$I = 0,00000252 \times 19,6 = 0,00004941 \text{ A}$$

- 4) Глибинний показник корозії розраховано за формулою:

$$K_r = 0,02627 \times \frac{8760}{1000 \times 7,874} = 0,029225 \text{ мм/рік}$$

Проводимо розрахунок для **п'ятого зразка ґрунту**:

- 1) Швидкість корозії визначали по зниженню маси зразків відомої площі за вибраний термін корозії за формулами:

$$K_{\text{ваг}} = \frac{42,6167 - 41,18}{18,8 \times 2922} = 0,00002615 \text{ г/см}^2 \times \text{год} \text{ (} 0,2291 \text{ г/см}^2 \times \text{рік)}$$

$$S_0 = 40 \times 47 = 1880 \text{ мм}^2 = 18,8 \text{ см}^2$$

$$\tau = 4 \text{ місяці} = 2922 \text{ годин.}$$

- 2) Відповідна швидкість корозії в струмових показниках визначалася за формулою:

$$i_p = 0,2291 \times 2,68 \times 10^{-3} \times \frac{2}{55,847} = 0,0000219 \text{ А/см}^2$$

- 3) Відповідно струм корозії визначався за формулою:

$$I = 0,0000219 \times 18,8 = 0,000413 \text{ A}$$

- 4) Глибинний показник корозії розраховано за формулою:

$$K_r = 0,2291 \times \frac{8760}{1000 \times 7,874} = 0,254878 \text{ мм/рік}$$

Проводимо розрахунок для шостого зразка ґрунту:

- 1) Швидкість корозії визначали по зниженню маси зразків відомої площі за вибраний термін корозії за формулами:

$$K_{\text{ваг}} = \frac{29,0548 - 28,47}{18,46 \times 2922} = 0,00001082 \text{ г/см}^2 \times \text{год} \text{ (} 0,0947 \text{ г/см}^2 \times \text{рік)}$$

$$S_0 = 71 \times 26 = 1846 \text{ мм}^2 = 18,46 \text{ см}^2$$

$$\tau = 4 \text{ місяці} = 2922 \text{ годин.}$$

- 2) Відповідна швидкість корозії в струмових показниках визначалася за формулою:

$$i_p = 0,0947 \times 2,68 \times 10^{-3} \times \frac{2}{55,847} = 0,00000908 \text{ А/см}^2$$

- 3) Відповідно струм корозії визначався за формулою:

$$I = 0,00000908 \times 18,46 = 0,000167 \text{ А}$$

- 4) Глибинний показник корозії розраховано за формулою:

$$K_r = 0,0947 \times \frac{8760}{1000 \times 7,874} = 0,10535 \text{ мм/рік}$$

Таблиця 3.3

Результати розрахунків швидкості корозії сталі в ґрунтах у вагових показниках $K_{\text{ваг}}$, глибинних показниках, K_z , та струмовому показнику I

g_0 , г	g_1 , г	Тип ґрунту	$K_{\text{ваг}}$	K_z	I
Вага до корозії	Вага після корозії		г/см ² × рік	мм/рік	А/см ²
28,0960	26,22	Торф (тепло, Відкр. без В ₁₂)	0,2777	0,3089	$5,3 \times 10^{-4}$
11,9200	11,10	Чорнозем(2) (аеробне, тепло, з В ₁₂)	0,2580	0,2870	$2,4 \times 10^{-5}$

Продовження таблиці 3.3

16,5964	16,52	Супісок (Анаеробне, тепло, без B_{12})	0,0467	0,0519	$2,1 \times 10^{-5}$
43,5618	43,39	Торф (Анаеробне, холод, без B_{12})	0,02627	0,0292	$4,9 \times 10^{-5}$
42,6167	41,18	Чорнозем(1) (аеробне, холод, з B_{12})	0,2291	0,2548	$4,1 \times 10^{-4}$
29,0548	28,47	Чорнозем(2) (Анаеробне, холод, з B_{12})	0,0947	0,1053	$1,6 \times 10^{-4}$

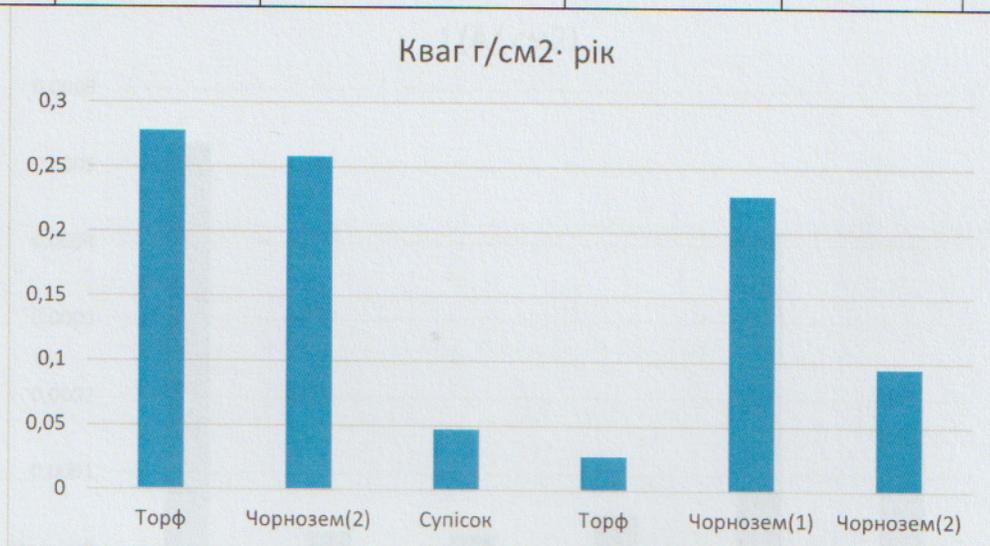


Рис. 3.11 Діаграма залежності швидкості корозії сталі в масовому показнику від типу ґрунту

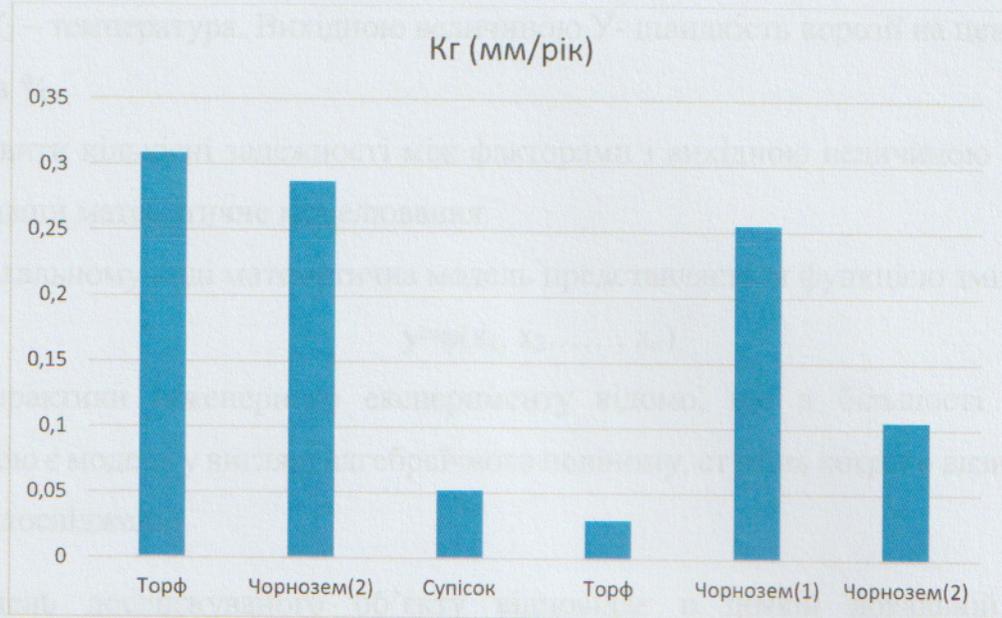


Рис. 3.12 Діаграма залежності швидкості корозії сталі в глибинному показнику від типу ґрунту

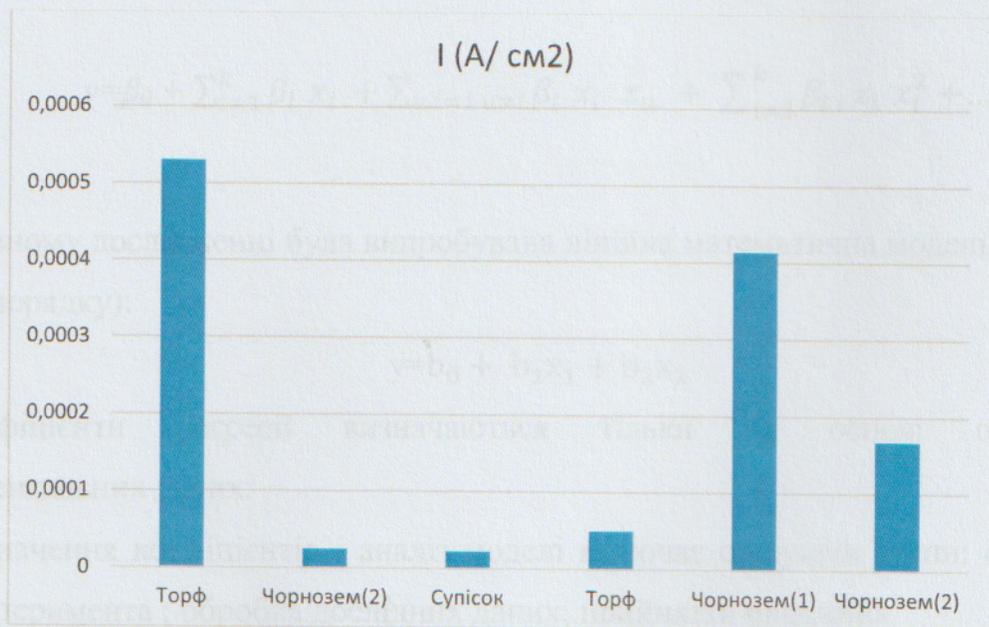


Рис. 3.13 Діаграма залежності швидкості корозії сталі в струмовому показнику від типу ґрунту

3.4 Планування повного факторного експерименту

Для виявлення зв'язків між швидкістю корозії, значенням рН і температурою використано 2-х факторний аналіз. В якості фактора X_1 прийнято значення рН a_y , а

фактора X_2 – температура. Вихідною величиною Y – швидкість корозії на центральній ділянці ϵ в %.

Виявити кількісні залежності між факторами і вихідною величиною можливо використавши математичне моделювання.

В загальному виді математична модель представляється функцією змінних

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Із практики інженерного експерименту відомо, що в більшості випадків задовільною є модель у вигляді алгебраїчного поліному, ступінь котрого визначається в процесі досліджень.

Модель досліджуваного об'єкту відповідає в деякій локальній області факторного простору із координатами $(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$. Невідома залежність у околі цієї точки представляється у виді поліному – відрізка ряду Тейлора (рівняння регресії):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{u, i=1}^{u \neq i} \beta_i x_i x_u + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i x_i^2 + \dots$$

В даному дослідженні була випробувана лінійна математична модель (поліном першого порядку):

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

Коефіцієнти регресії визначаються тільки на основі отриманих експериментальних даних.

Визначення коефіцієнтів і аналіз моделі включає слідуєчі етапи: складання плану експеримента ; обробка дослідних даних; прийняття рішення.

При варіюванні факторів на двох рівнях для реалізації всіх можливих непоторних комбінацій рівнів факторів необхідно провести $N=2^2$ дослідів. В таблиці 3.4 приведена матриця планування повного факторного експерименту типу 2^2 .

Таблиця.3.4

Матриця планування факторного 1 експерименту

Номер дослід	Фактори		Відгук $y(i)$
	X_1 (pH)	X_2 (t)	
1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	y_2
3	+1	-1	y_3
4	-1	-1	y_4

Розрахунок для **першого** експерименту:

Складаємо рівняння для X_1 та X_2 :

$$X_1 = \frac{\text{pH} - \frac{\text{max} + \text{min}}{2}}{\frac{\text{max} - \text{min}}{2}} = \frac{\text{pH} - 5,85}{0,95},$$

$$X_2 = \frac{t - \frac{\text{max} + \text{min}}{2}}{\frac{\text{max} - \text{min}}{2}} = \frac{t - 13,5}{6,5}.$$

Розрахунок коефіцієнтів регресії для матриці планування:

$$a_0 = \frac{1}{4} (0,35 + 0,25 + 2,6 + 1,9) \times 10^{-5} = 1,27 \times 10^{-5};$$

$$a_1 = \frac{1}{4} (0,35 - 0,25 + 2,6 - 1,9) \times 10^{-5} = 0,2 \times 10^{-5};$$

$$a_2 = \frac{1}{4} (-0,35 - 0,25 + 2,6 + 1,9) \times 10^{-5} = 0,97 \times 10^{-5}.$$

Складаємо рівняння регресії:

$$y = 1,27 \times 10^{-5} + 0,2 \times 10^{-5} X_1 + 0,97 \times 10^{-5} X_2;$$

$$y = (1,27 + 0,2 X_1 + 0,97 X_2) \times 10^{-5}.$$

Знаходимо математичну формулу для визначення швидкості корозії в торфі:

$$i = (1,27 + 0,2 \frac{\text{pH} - 5,85}{0,95} + 0,97 \times \frac{t - 13,5}{6,5}) \times 10^{-5};$$

$$i = (1,27 + 0,2 \text{pH} - 1,23 + 0,15t - 2,01) \times 10^{-5};$$

$$i = (-1,97 + 0,21 \text{pH} + 0,15t) \times 10^{-5}.$$

Визначаємо $u_{\text{розр}}$:

$$i_1 = (-1,97 + 0,21 \times 6,8 + 0,15 \times 7) \times 10^{-5} = 0,5 \times 10^{-5};$$

$$i_2 = (-1,97 + 0,21 \times 4,9 + 0,15 \times 7) \times 10^{-5} = 0,11 \times 10^{-5};$$

$$i_3 = (-1,97 + 0,21 \times 6,8 + 0,15 \times 20) \times 10^{-5} = 2,46 \times 10^{-5};$$

$$i_4 = (-1,97 + 0,21 \times 4,9 + 0,15 \times 20) \times 10^{-5} = 2,06 \times 10^{-5}.$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.5.

Розрахунок для другого експерименту:

Складаємо рівняння для X_1 та X_2 :

$$X_1 = \frac{\text{pH} - \frac{\text{max} + \text{min}}{2}}{\frac{\text{max} - \text{min}}{2}} = \frac{\text{pH} - 7,11}{0,41};$$

$$X_2 = \frac{t - \frac{\text{max} + \text{min}}{2}}{\frac{\text{max} - \text{min}}{2}} = \frac{t - 13,5}{6,5}.$$

Розрахунок коефіцієнтів регресії для матриці планування:

$$a_0 = \frac{1}{4} (1,01 + 0,09 + 2,4 + 2,1) \times 10^{-5} = 1,6 \times 10^{-5};$$

$$a_1 = \frac{1}{4} (1,01 - 0,09 + 2,4 - 2,1) \times 10^{-5} = 0,1025 \times 10^{-5};$$

$$a_2 = \frac{1}{4} (-1,01 - 0,09 + 2,4 + 2,1) \times 10^{-5} = 0,64 \times 10^{-5}.$$

Складаємо рівняння регресії:

$$y = 1,6 \times 10^{-5} + 0,102 \times 10^{-5} X_1 + 0,64 \times 10^{-5} X_2$$

$$y = (1,6 + 0,102 X_1 + 0,64 X_2) \times 10^{-5}$$

Знаходимо математичну формулу для визначення швидкості корозії у чорноземі:

$$i = (1,6 + 0,102 \frac{\text{pH} - 7,11}{0,41} + 0,64 \times \frac{t - 13,5}{6,5}) \times 10^{-5};$$

$$i = (1,6 + 0,102 \text{pH} - 1,76 + 0,64t - 1,32) \times 10^{-5};$$

$$i = (-1,48 + 0,25 \text{pH} + 0,098t) \times 10^{-5}.$$

Визначаємо $u_{\text{розр}}$:

$$i_1 = (-1,48 + 0,25 \times 7,53 + 0,098 \times 7) \times 10^{-5} = 1,0 \times 10^{-5};$$

$$i_2 = (-1,48 + 0,25 \times 6,70 + 0,098 \times 7) \times 10^{-5} = 0,87 \times 10^{-5};$$

$$i_3 = (-1,48 + 0,25 \times 7,53 + 0,098 \times 20) \times 10^{-5} = 2,36 \times 10^{-5};$$

$$i_4 = (-1,48 + 0,25 \times 6,70 + 0,098 \times 20) \times 10^{-5} = 2,15 \times 10^{-5}.$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Результати 2-х факторного експерименту

№	Кодові значення факторів		Фізичні значення факторів		Відгуки		Нев'язка
	X_1	X_2	X_1 (pH)	$X_2(t)^\circ\text{C}$	y_e	Урозн.	
1	2	3	4	5	6	7	8
Торф							
1	+1	-1	6,8	7	$0,35 \times 10^{-5}$	$0,5 \times 10^{-5}$	-0,15
2	-1	-1	4,9	7	$0,25 \times 10^{-5}$	$0,11 \times 10^{-5}$	0,14
3	+1	+1	6,8	20	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,46 \times 10^{-5}$	0,14
4	-1	+1	4,9	20	$1,9 \times 10^{-5}$	$2,06 \times 10^{-5}$	-0,16
Σ							-0,03
Чорнозем							
1	+1	-1	7,53	7	$1,01 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$	0,01
2	-1	-1	6,70	7	$0,9 \times 10^{-5}$	$0,87 \times 10^{-5}$	0,03
3	+1	+1	7,53	20	$2,4 \times 10^{-5}$	$2,36 \times 10^{-5}$	0,04
4	-1	+1	6,70	20	$2,1 \times 10^{-5}$	$2,15 \times 10^{-5}$	-0,05
Σ							0,093

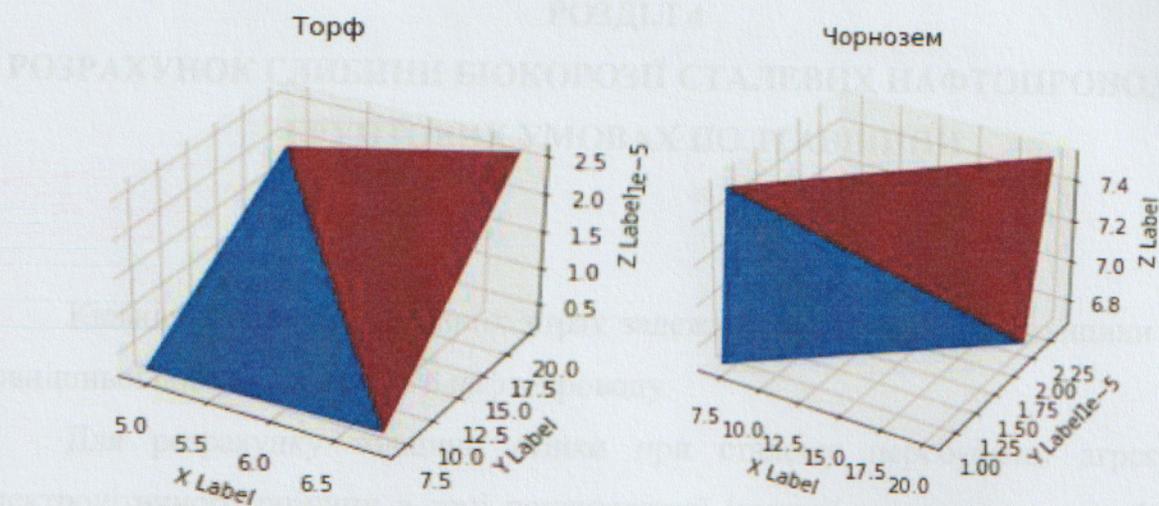


Рис. 3.14 Поверхня відгуку глибинної корозії від рН та температури

В розділі наведені результати динаміки едафічних показниками в досліджуваних ґрунтах. Проведено розрахунків швидкості корозії сталі в ґрунтах у вагових показниках $K_{ваг}$, глибинних показниках, K_e , та струмовому показнику I . За допомогою проведеного повного факторного експерименту знайдено математичну модель знаходження швидкості біокорозії у торфі та чорноземі в залежності від показника рН та температури.

$$K = M / F = 55,847 / 24 = 2,327 \text{ г/год} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{мол}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \cdot \text{см}^2$$

$$K = 1,9424 \text{ г/А} \cdot \text{год} \cdot \text{д} \cdot \text{см}^2$$

M – хімічний еквівалент, г/моль;

A – атомна вага металу, для заліза $A = 55,847$ г/моль;

C – валентність металу, валентність, для заліза $n = 2$;

F – постійна Фарадея, $F = 96485 \text{ А} \cdot \text{с/моль} = 26,80139 \text{ А} \cdot \text{год/моль}$.

Виявлено, що утворюється від інтенсивної корозії маса фізично вугру, який розглядаємо корозійну шпатель на трубі у вигляді різкоконусного конуса, що рівномірно розростається.

Маса відрізаного металу нафторированому мікрометру було дорівнює масі цього конуса з врахуванням питомої ваги металу $D = 7,874 \text{ г/см}^3$.

Об'єм конуса:

$$V = 1/3 (\pi r^2) \times h_c = \pi r^2 h_c / 12 \text{ см}^3 \quad (3.1)$$

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ГЛИБИНИ БІОКОРОЗІЇ СТАЛЕВИХ НАФТОПРОВОДІВ В ГРУНТОВИХ УМОВАХ ПОЛТАВЩИНИ

Кількісна оцінка корозійних втрат залежить від зменшення товщини стінки зовнішньої поверхні сталевих нафтопроводів.

Для розрахунку товщини стінки при сталому перебуванні агресивного електролітичного розчину в зоні пошкодженої ізоляції враховано закон Фарадея, відповідно до якого корозійна втрата металу розраховується в такий спосіб:

$$M = K \times I \times t \quad (4.1)$$

де M – маса металу, г;

I – струм електрохімічної корозії, А;

t – час, год;

K – електрохімічний коефіцієнт металу, що визначається за формулою:

$$K = \frac{A}{F \times U}, \quad (4.2)$$

$K = M / F = 55,847 / 2 \times 26,80139 = 1,04186$ г/А×год. (за довідковим матеріалом $K = 1,0424$ г/А×год.);

M – хімічний еквівалент, г/моль;

A – атомна вага металу, для заліза $A = 55,847$ г/моль;

U – валентність металу, валентність, для заліза $n = 2$;

F – постійна Фарадея, $F = 96485$ А×с/моль = $26,80139$ А×год/моль.

Виявлено, що виразка від локальної корозії має форму круга. Звідси, розглянемо корозійну виразку на трубі у вигляді рівностороннього конуса, що рівномірно розростається.

Маса втраченого металу нафтопроводу чисельно буде дорівнювати об'єму цього конуса з врахуванням питомої ваги металу D ($7,874$ г/см³).

Об'єм конуса:

$$V = 1/3 (\pi \times (a_k / 2)^2 \times h_k) = \pi a_k^2 h_k / 12 \text{ мм}^3 \quad (4.3)$$

де a – площа корозійної виразки, мм ;

h – глибина корозійної виразки, мм

Отже, з іншого боку маса втраченого металу дорівнює

$$m = \frac{\pi a^2}{12} h_k D \quad (4.4)$$

Припустимо, що діаметр корозійної виразки на останній дорівнює товщині стінки труби або глибині h виразки.

Звідси глибина виразки:

$$h = \frac{12 KI}{\pi \times D \times a^2} t \quad (4.5)$$

де D – питома вага металу трубопроводу (заліза), г/см³,

I – струму, що проходить через площу поперечного перерізу поверхні виразки, А/см²

З врахуванням швидкості біоелектрохімічної корозії макрогальванопари, отриманою експериментально можна оцінити глибину корозійних уражень сталі у відповідному корозійному середовищі.

Розрахунок глибини виразки для досліджуваних сталевих пластин:

1) Глибина виразки 1-го зразка:

$$h = \frac{12 \times 1.04186 \times 0.00053}{3.14 \times 7.874 \times 2025} \times 2922 = 3,8 \times 10^{-4} \text{ мм};$$

2) Глибина виразки 2-го зразка:

$$h = \frac{12 \times 1.04186 \times 0.000235}{3.14 \times 7.874 \times 980} \times 2922 = 3,5 \times 10^{-4} \text{ мм};$$

3) Глибина виразки 3-го зразка:

$$h = \frac{12 \times 1.04186 \times 0.0000219}{3.14 \times 7.874 \times 490} \times 2922 = 6,6 \times 10^{-5} \text{ мм};$$

4) Глибина виразки 4-го зразка:

$$h = \frac{12 \times 1.04186 \times 0.00004941}{3.14 \times 7.874 \times 1960} \times 2922 = 3,72 \times 10^{-5} \text{ мм};$$

5) Глибина виразки 5-го зразка:

$$h = \frac{12 \times 1.04186 \times 0.000413}{3.14 \times 7.874 \times 1880} \times 2922 = 3,24 \times 10^{-4} \text{ мм};$$

6) Глибина виразки 6-го зразка:

$$h = \frac{12 \times 1.04186 \times 0,000167}{3,14 \times 7,874 \times 1846} \times 2922 = 1,31 \times 10^{-4} \text{ мм.}$$

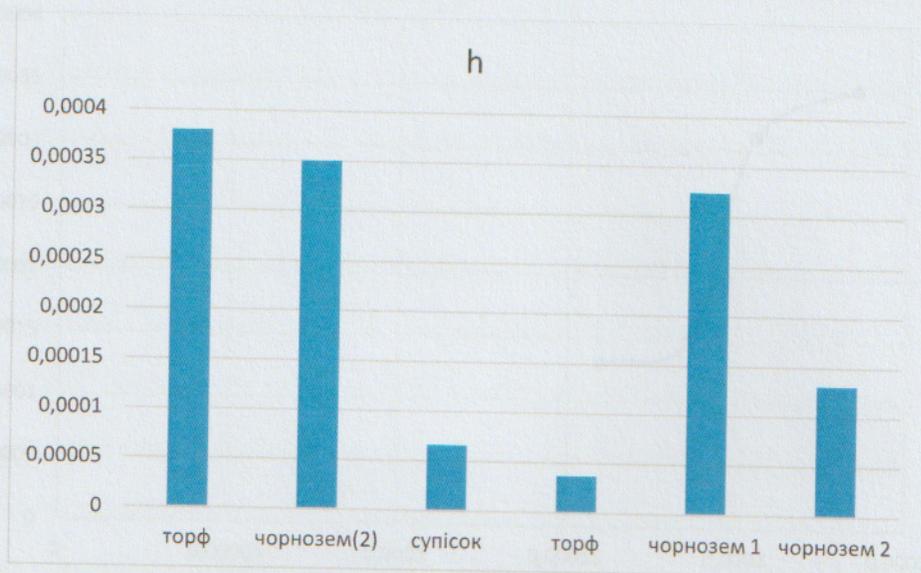


Рис. 4.1 Залежність глибини біокорозії сталі від типу ґрунту
Вихідні дані для наступних графіків наведені в Додатку В.

$I, \text{А/см}^2$

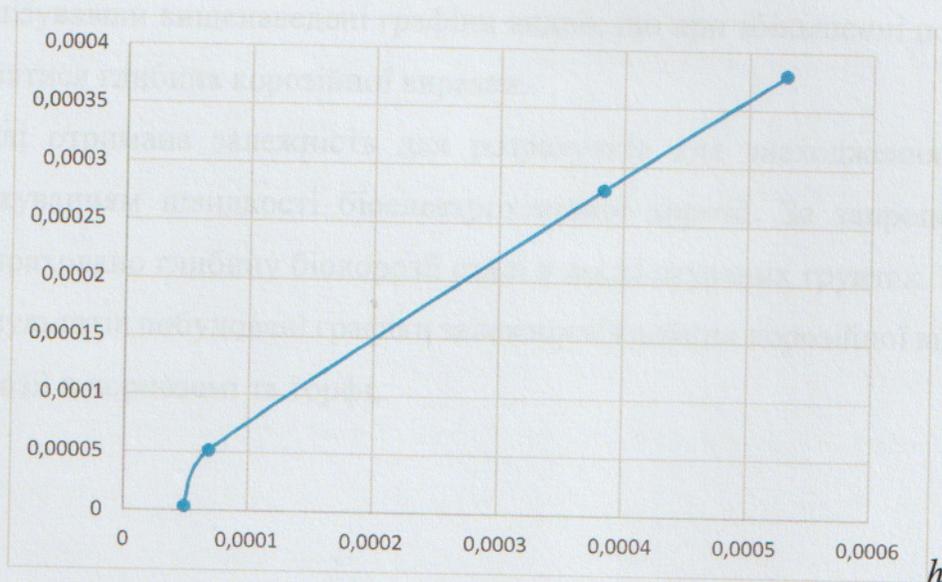


Рис. 4.2 Залежність глибини корозійної виразки від струму біокорозії в торфі

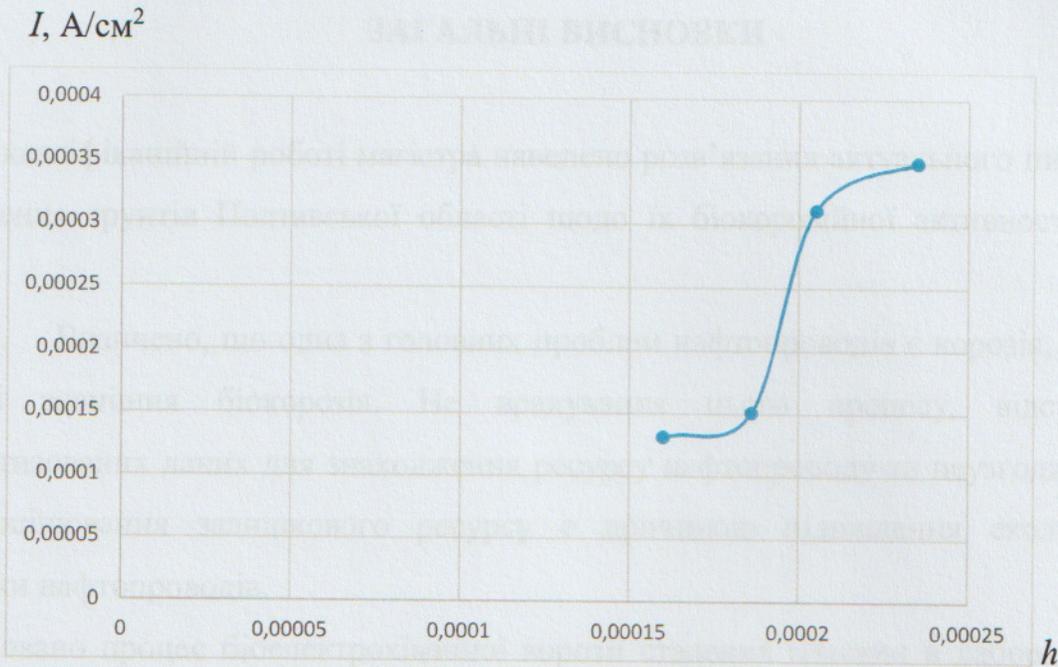


Рис. 4.3 Залежність глибини корозійної виразки від струму біокорозії в чорноземі

Проаналізувавши вищенаведені графіки видно, що при збільшенні показника I буде збільшуватися глибина корозійної виразки.

В розділі отримана залежність для розрахунків для знаходження глибини корозії з урахуванням швидкості біоелектрохімічної корозії. За запропонованою формулою розраховано глибину біокорозії сталі в досліджуваних грунтах. На основі отриманих результатів побудовані графіки залежності глибини корозійної виразки від струму біокорозії в чорноземі та торфі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра наведено розв'язання актуального питання дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності. При цьому:

1. Визнчено, що одна з головних проблем нафтопроводів є корозія, в тому числі і зовнішня біокорозія. Не врахування цього процесу, відсутність систематизованих даних для знаходження ресурсу нафтопроводу та неузгодженість меток оцінювання залишкового ресурсу є причиною підвищення екологічної небезпеки нафтопроводів.

Змодельовано процес біоелектрохімічної корозії сталевих пластин в лабораторних умовах та експериментально визначено швидкості біокорозії сталевих пластин. На основі цих даних побудовані графіки динаміки едафічних показників у досліджуваних ґрунтах.

3. Проведено розрахунки швидкості корозії сталі в ґрунтах у вагових показниках $K_{\text{ваг}}$, глибинних показниках, $K_{\text{г}}$, та струмовому показнику I . Доведено, що чорнозем та торф'яні ґрунти мають найбільшу біокорозійну активність відносно сталі Ст20 за показником швидкість корозії.

4. Розроблено математичну модель швидкості біокорозії у торфі та чорноземі з врахуванням показників рН та температури. Розраховано швидкості біокорозії в торфі та чорноземі за запропонованою моделлю. Підтверджена адекватність розробленої моделі за критеріями Стюдента та Фішера. Перевагою моделі є можливість прогнозування швидкості біокорозії в ґрунтах.

5. Отримана залежність для розрахунків глибини біокорозії в торфі та чорноземі Полтавської області. На основі проведених розрахунків побудований графік залежності глибини від струму біокорозії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ramírez-Camacho J. G, Carbone F, Pastor E, Bubbico R and Casal J 2016 Safety Science XX Article in press
2. Risk Assessment of Oil Pipeline Accidents in Special Climatic Conditions A N Vtorushinaa , Y V Anishchenko, E D Nikonova Ecology and Human Safety Department, Tomsk Polytechnic University Lenin av. 30, Tomsk, Russia
3. Barros da Cunha S 2016 Journal of Loss Prevention in the Process Industries 44 282
4. Uhlig HH (1949) The cost of corrosion in the United States. Chem and Engng News 27:2764
5. Kermani MB, Smith LM (1997) CO₂ corrosion control in oil and gas production: design considerations. The Institute of Materials, European Federation of Corrosion Publications, London
6. Corbin D, Willson E (2007) New technology for real-time corrosion detection. Tri-service corrosion conference, USA
7. Roberge PR (2000) Handbook of corrosion engineering. McGraw-Hill, New York
8. Мальцева Г. Н. Под редакцией д. т. н., профессора С. Н. Виноградова. Коррозия и защита оборудования от коррозии: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. - с.: 55 ил., 20 табл., библиогр. 11 назв
9. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування [Електронний ресурс] : підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв – Електронні текстові дані (1 файл: 8,81 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 318 с.
10. ДСТУ 4219-2003 Трубопроводи сталевы магыстральны загальні вимоги до захисту від корозії
11. Андреев Е.И., Билай В.И., Ковель Э.З., Козлова И.А. Микробная коррозия и ее возбудители. Киев: Наук, думка, 1980. 287 с.

12. Споросвет Ж.О. Закономерности биокоррозионного разрыва енегронной стали 30000 НД в средах тоновых бокс терия: Автореф. ... канд. хим. наук. М.: ВНИИК, 1987. 26 с
13. Глазков В. И., Зиневич А. М., Котик В. Г. и др. Защита от коррозии прожженных металлических сооружений. М.: Недра, 1969
14. Беляев С.С. Особенности микробиологических процессов в завод- ненном нефтяном месторождении Среднего Приобья. Микробиология. Вып. 6. Т. 59. – 1990. – С. 1075- 1081.
15. Хисамутдинов, Н.И. Обследование зараженности закачиваемых и добываемых вод микроорганизмами-агентами биокоррозии и биообразований для разработки технологии повышения нефтеотдачи применением биоцидов Отчет малого предприятия «Нефтегазтехнология». Этап 1. Уфа. 1991. 34 с.; Этапы 2-5. Уфа. 1992. 26 с.
16. Рубенчик, Л.М. Сульфатвосстанавливающие бактерии. М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 342 с.
17. Чеботарев, Е.Н. Биохимия сульфатвосстанавливающих бактерий М.: ВИНТИ. 1978 – 45 с.
18. Сорокин, Ю. И. Изучение хемосинтеза у сульфатвосстанавливающих бактерий. автореф. канд. дисс. – М., Ин-т микробиологии АН СССР, 1953. – 112 с.
19. Коррозия нефтепромыслового оборудования и меры ее предупреждения. М.: Недра, 1976. – 192 с.
20. Андреюк К.І. Мікробна корозія підземних споруд / К.І. Андреюк, І.П. Козлова, Ж.П. Коптєва [та ін.]. – К.: Наукова думка, 2005. – 258 с.
21. Tambe, S.P.; Jagtap, S.D.; Chaurasiya, A.K.; Joshi, K.K. Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria. Prog. Org. Coat. 2016, 94, 49–55
22. Liu, H.W.; Cheng, Y.F. Mechanistic aspects of microbially influenced corrosion of X52 pipeline steel in a thin layer of soil solution containing sulphate-reducing bacteria under various gassing conditions. Corros. Sci. 2018, 133, 178–189

23. Xu, J.; Wang, K.X.; Sun, C.; Wang, F.H.; Li, X.M.; Yang, J.; Yu, C.K. The effects of sulfate reducing bacteria on corrosion of carbon steel Q235 under simulated disbonded coating by using electrochemical impedance spectroscopy. *Corros. Sci.* 2011, 53, 1554–1562.
24. Wei, B.X.; Xu, J.; Fu, Q.; Qin, Q.Y.; Bai, Y.L.; Sun, C.; Wang, C.; Wang, Z.Y.; Ke, W. Effect of sulfate-reducing bacteria on corrosion of X80 pipeline steel under disbonded coating in a red soil solution. *J. Mater. Sci. Technol.* 2021, 87, 1–17
25. Von Volzogen Kuhr C. A. H. and Van der Vlugt L. S. Grafication of cast-iron as an electro biological process in anaerobic soils // *Water.* – 1934. – 18. – P. 147–165.
26. Booth G. H. Sulfur bacteria in relation to corrosion // *J. Appl. Bacteriol.* – 1964. – 27. – P. 147–181
27. Mc Comb G. B. New light on anaerobic corrosion // *Corrosion control handbook: Energy Commun. Inc. New York*, 1985. – P. 122–125.
28. Sun, J. Xu, F. H. Wang, C. K. Yu State Key Lab for Metals Corrosion and Protection, Institute of Metals Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016 (P. R. China) 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
29. Степова О.В. Розрахунок швидкості корозії підземних нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавської області. Збірник наукових праць за матеріалами VIIго Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю «Екологія/Ecology–2019». (Вінниця, 25–27 вересня 2019 р.). Вінниця: ВНТУ. 2019. С.42 – 43
30. Беккер М. В. Обеспечение надёжной работы газотранспортной системы ДК «Укратрансгаз». Сборник докладов научно-практического семинара. К., 2007.
31. Мискарли А. К. Теория и методы исследования коррозии металлов. Изв. АзФАН СССР, изд. 3, 1941.
32. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии. М.: Возрождение, 1984. 495с.
33. Защита металлических сооружений от коррозии: Справочник / За ред. Н. И. Рябцева. М.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1959. 742 с.

34. Методичні вказівки щодо радіаційногігієнічного регламентування проведення робіт на об'єктах ліквідованого Придніпровського хімічного заводу (ПХЗ). Методичні вказівки МВ 6.6.1.2.6.-136-2007. Видання офіційне; Київ-2007. – 31с.
35. Чорноземи масивів зрошення Одещини : монографія / [наук. ред.: Є.Н. Красєха, Я.М. Біланчин]. – Одеса : ОНУ, 2016. – 194 с.
36. Супісок // / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 185.
37. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки
38. Адлер Ю.П., Маркова ЕВ., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
39. Брановицкая С.В., Медведев Р.Б., Фиалков Ю.Я. Вычислительная математика в химии и химической технологии. К.: Вища школа. 1986. 216 с.
40. Куренин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: метод.указания. СПб. 2003. 57 с.
41. Притула В. А. Защита заводских подземных трубопроводов от коррозии. М.: Металлургиздат, 1961.
42. Волков Б.Г., Тесов Н.И., Шуванов В.В. Справочник по защите подземных металлических сооружений от коррозии. Л.: «НЕДРА», 1975. 224 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Динаміка едафічних показників

Дати вимірювань	04.02			18.02			28.04			30.05			10.06			18.07			04.08		
	тип досліджуваного ґрунту	Наявність сульфатів	Значення рН	Наявність сульфатів	Значення рН	Значення рН-індикатор	Наявність сульфатів	Значення рН	Значення рН-метр	Наявність сульфатів	Значення рН										
Торф (аеробне тепло, без В12)	багато	індикатор р 5	4,90	багато	4	5	багато	5,23		багато	5	багато	6	багато	6	мало	6	мало	6		
Чорнозем(2) (аеробне, тепло, з В12)	багато	7	7,05	багато	7	7	дуже багато	7,13		дуже багато	7	багато	7	багато	7	мало	7	мало	7		
Супісок (Анаеробне, тепло, без В12)	багато	6	5,53	дуже багато	7	6	дуже багато	6,71		дуже багато	7	багато	7	багато	7	мало	7	мало	8		
Торф (Анаеробне, холод, без В12)	багато	5	5,48	багато	5	5	багато	5,84		багато	6	дуже багато	7	багато	6	мало	6	мало	6		
Чорнозем(1) (аеробне, холод, з В12)	багато	7	6,91	дуже багато	7	6	багато	6,79		багато	7	багато	6	багато	7	мало	7	мало	7		
Чорнозем(2) (Анаеробне, холод, з В12)	багато	7	6,70	багато	7	7	дуже багато	7,14		дуже багато	7	багато	7	багато	7	багато	7	багато	7		

Продовження таблиці А.1

Дати вимірювань	26.08		14.09		30.09	
	Наявність сульфатів	Значення рН	Наявність сульфатів	Значення рН	Наявність сульфатів	Значення рН
тип досліджуваного ґрунту						
Торф (тепло, Відкр. без В ₁₂)	мало	6	мало	7	6,8	мало
Чорнозем(2) (аеробне, тепло, з В ₁₂)	мало	7	мало	7	7,53	мало
Супісок (Анаеробне, тепло, без В ₁₂)	мало	8	мало	7	7,50	мало
Торф (Анаеробне, холод, без В ₁₂) ⁶	мало	6	мало	6	6,74	мало
Чорнозем(1) (аеробне, холод, з В ₁₂)	мало	7	мало	7	7,39	мало
Чорнозем(2) (Анаеробне, холод, з В ₁₂)	мало	7	мало	7	7,34	мало

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1

Значення лінії тренду

№ рисунку		формула	Значення коефіцієнта R
Рис. 3.1	1	$y = 0,0103x - 455,87$	$R^2 = 0,8125$
	2	$y = -4E-05x^2 + 3,3366x - 74482$	$R^2 = 0,7996$
Рис. 3.2		$y = 0,1525x^2 + 0,2465x + 4,4075$	$R^2 = 0,9674$
Рис. 3.3	1	$y = 7$	$R^2 = 0$
	2	$y = -6E-05x^2 + 5,6144x - 125370$	$R^2 = 0,6269$
Рис. 3.4		$y = 0,226x + 6,78$	$R^2 = 0,9351$
Рис. 3.5	1	$y = 0,0068x - 298,21$	$R^2 = 0,5869$
	2	$y = -3E-05x^2 + 2,3394x - 52115$	$R^2 = 0,7153$
Рис. 3.6		$y = -0,22x^2 + 1,86x + 3,885$	$R^2 = 0,9998$
Рис. 3.7	1	$y = 0,0065x - 284,74$	$R^2 = 0,5325$
	2	$y = -4E-05x^2 + 3,997x - 89229$	$R^2 = 0,5954$
Рис. 3.8		$y = 0,1475x^2 + 0,0155x + 5,2925$	$R^2 = 0,9959$
Рис. 3.9	1	$y = 0,0026x - 111,5$	$R^2 = 0,1493$
	2	$y = -8E-06x^2 + 0,722x - 15974$	$R^2 = 0,7677$
Рис. 3.10		$y = 0,1575x^2 - 0,4305x + 7,1425$	$R^2 = 0,9574$
Рис. 3.11	1	$y = 7$	$R^2 = 0$
	2	$y = -6E-05x^2 + 5,7004x - 127327$	$R^2 = 0,7645$
Рис. 3.12		$y = -0,01x^2 + 0,382x + 6,35$	$R^2 = 0,9828$

ДОДАТОК В

Математичні розрахунки до Розділу 4.

Розрахунки для Рис.4.2:

1) Знаходимо струм корозії за формулою (2.3):

$$\text{a. } I_1 = 1,9 \times 10^{-5} \times 20,25 = 0,000384 \text{ А;}$$

$$\text{b. } I_2 = 0,35 \times 10^{-5} \times 19,6 = 0,0000686 \text{ А.}$$

2) Розрахунок глибини виразки за формулою (3.6):

$$\text{a. } h_1 = \frac{12 \times 1,04186 \times 0,000384}{3,14 \times 7,874 \times 2025} \times 2922 = 2,8 \times 10^{-4} \text{ мм;}$$

$$\text{b. } h = \frac{12 \times 1,04186 \times 0,0000686}{3,14 \times 7,874 \times 1960} \times 2922 = 5,17 \times 10^{-5} \text{ мм.}$$

Розрахунки для Рис.4.3:

1) Знаходимо струм корозії за формулою (2.3):

$$\text{a. } I_1 = 2,1 \times 10^{-5} \times 9,8 = 0,000205 \text{ А;}$$

$$\text{b. } I_2 = 1,01 \times 10^{-5} \times 18,46 = 0,000186 \text{ А.}$$

2) Розрахунок глибини виразки за формулою (3.6):

$$\text{a. } h_1 = \frac{12 \times 1,04186 \times 0,000205}{3,14 \times 7,874 \times 980} \times 2922 = 3,1 \times 10^{-4} \text{ мм;}$$

$$\text{b. } h = \frac{12 \times 1,04186 \times 0,000186}{3,14 \times 7,874 \times 1846} \times 2922 = 1,51 \times 10^{-4} \text{ мм.}$$

*Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування*



*Графічна частина
до кваліфікаційної роботи
на тему: "Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності"*

*Виконала: студентка групи 601-МТЗ
Спеціальність: 183 "Технології захисту
навколишнього середовища"
Бондар О. В.
Керівник: д.т.н., проф. Степова О. В.*

Полтава – 2022

ДОСЛІДЖЕННЯ ГРУНТІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЩОДО ЇХ БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ

Актуальність роботи: Україна має розгалужену мережу сталевих нафтопроводів, які є об'єктами підвищеної небезпеки з точки зору сучасних екологічних вимог. У разі аварій на зазначених об'єктах виникають екологічні ризики забруднення довкілля внаслідок витоків нафтопродуктів. Проблема забезпечення екологічно безпечної роботи нафтотранспортної мережі є досить гострою. Особливо небезпечним на сьогодні є забруднення довкілля внаслідок великої кількості аварій та пошкоджень на нафто- та газопроводах, причиною яких є корозійні пошкодження та руйнування. Гостро стоїть проблема захисту трубопроводів від зовнішньої корозії. Значна частина корозійних руйнувань металів у ґрунтового середовищі – це результат мікробіологічної корозії. Головна загроза біологічної корозії полягає в тому, що бактерії швидко розмножуються і легко пристосовуються до фізичних, біологічних і хімічних змін умов середовища. Особлива роль у прискоренні біокорозії сталі належить бактеріям циклу сірки. Їх метаболіт це сірководень, який є сильним стимулятором корозії сталі.

Мета роботи – визначити швидкість біокорозії нафтопроводів Полтавської області під впливом бактерій циклу сірка.

Задачі дослідження:

1. виконати аналіз відомих досліджень з впливу біокорозії на сталь в ґрунтового середовищі;
2. встановити залежність біокорозії від фізичних показників ґрунтового середовища;
3. розробити математичну модель інтенсивності біокорозії сталі в ґрунтових умовах Полтавської області з дотриманням вимог безпечної експлуатації;
4. розрахувати швидкість біокорозії за запропонованою моделлю.

Об'єкт дослідження – процес зовнішньої біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційне джерело забруднення довкілля внаслідок витоків нафтопродуктів.

Предмет дослідження – кількісні показники біокорозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційне джерело забруднення довкілля внаслідок витоків нафтопродуктів.

Наукова новизна, вперше запропоновано математичну модель інтенсивності біокорозії сталі в ґрунтових умовах Полтавської області з дотриманням вимог безпечної експлуатації, що дозволяє встановити найбільш корозійно небезпечні ділянки.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Отримані результати наукової роботи будуть використані при розробці та впровадженні нових лекційних курсів при викладанні навчальних дисциплін "Техноекологія", «Моделювання та прогнозування стану довкілля» для студентів спеціальностей 101 Екологія, 183 Технології захисту навколишнього середовища. Пропонується врахувати результати кваліфікаційної роботи при обстеженнях нафтопроводів на території Полтавської області.

						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Постановка задачі	Стадія	Лист	Листов
Розробила	Бондар О. В.						МР	2	13
Керівник	Степова О. В.					Актуальність, мета, задачі, об'єкт, предмет дослідження, практичне значення результатів, наукова новизна			
Зав. кафедри	Степова О.В.								

Согласовано				
Взам. інв. №				
Попл. и дата				
Инв. № подл.				

АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наукові публікації

Вперше корозійне руйнування металу в ґрунті під дією сульфатвідновлювальних бактерій (СВБ) виявили голландські вчені *C. H. Khyr* і *L. S. Van Der Vlugt*. Вони звернули увагу на активність СВБ у прилеглому до труби ґрунті, яка була під катодним захистом. Саме так виникла блискуча гіпотеза катодної деполізації бактеріями як механізму корозії в анаеробних умовах траншеї газопроводу.

Xu, J.; Wang, K.X.; Sun, C.; Wang, F.H.; Li, X.M.; Yang, J.; Yu, C.K. "The effects of sulfate reducing bacteria on corrosion of carbon steel Q235 under simulated disbonded coating by using electrochemical impedance spectroscopy" повідомили, що СВБ-корозія є серйозною під покриттям, що роз'єдналося, у нейтральному ґрунтовому розчині

Weij, B.X.; Xu, J.; Fu, Q.; Qin, Q.Y.; Bai, Y.L.; Sun, C.; Wang, C.; Wang, Z.Y.; Ke, W. "Effect of sulfate-reducing bacteria on corrosion of X80 pipeline steel under disbonded coating in a red soil solution" продемонстрували, що корозію сталі прискорює СВБ під роз'єднаним покриттям у кислому ґрунтовому розчині

У роботі *C. Sun, J. Xu, F. H. Wang and C. K. Yu* "State Key Lab for Metals Corrosion and Protection, Institute of Metals Research, Chinese Academy of Sciences" проводився експеримент з підсіянням СВБ в зразки ґрунту та сталі Q235 в якому з часом результати показали, що значення рН ґрунту стали поступово збільшуватися, кількість СВБ і швидкість корозії металу зменшилась. При цьому вони дійшли до висновку що швидкість корозії сталі в ґрунті з СВБ була набагато вищою, ніж без них, але в даній роботі був досліджений тільки один тип ґрунту і не вказаний який це ґрунт.

Степова О. В. « Розрахунок швидкості корозії підземних нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавської області», в цій роботі на основі моделювання електрохімічної корозії сталі розроблено залежність, що дає змогу розрахувати втрату площу перерізу сталевого магістрального нафтопроводу в тріщині ізоляційного покриття.

Нормативні документи

ДСТУ 3291-95 Єдина система захисту від корозії та старіння. Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд.

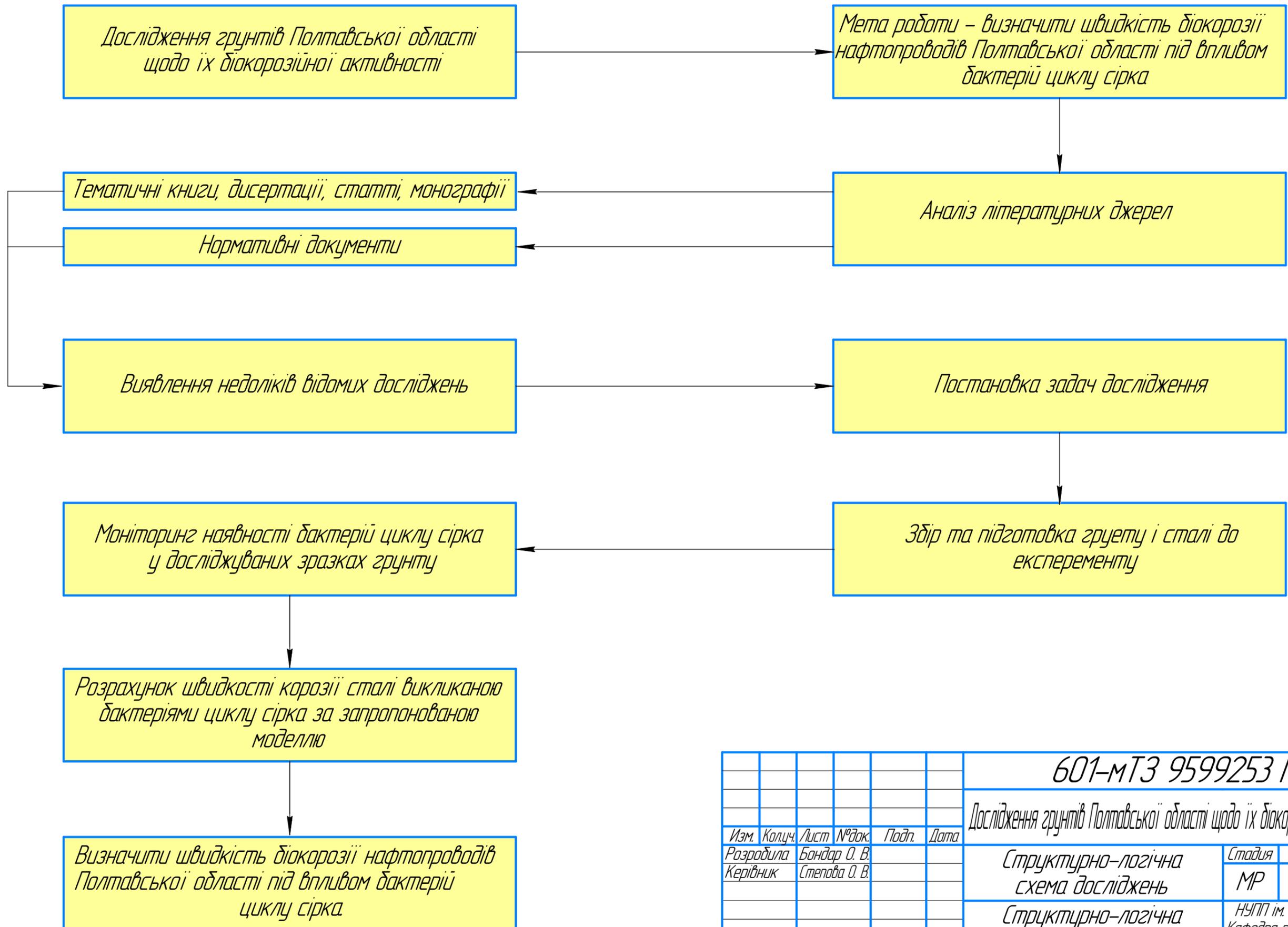
ДСТУ 4219-2003 Трубопроводи сталевы магістральні загальні вимоги до захисту від корозії

Недоліки відомих досліджень :

- невраховано вплив ґрунтового середовища Полтавської області на біокорозію нафтопроводів;
- неврахований вплив швидкості біокорозії викликаню бактеріями циклу сірка на стан нафтопроводу, що проходять через територію Полтавської області.

						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Аналіз відомих досліджень	Стадія	Лист	Листов
Розробила	Бондар О. В.						МР	3	13
Керівник	Степова О. В.								
						Наукові публікації, нормативні документи, недоліки відомих досліджень.			
Зав. кафедри	Степова О. В.					НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокарискування			

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ



Согласовано					
Изм. №	подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №		

						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх діокорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Структурно-логічна схема досліджень	Стадия	Лист	Листов
Разработила	Бондар О. В.						МР	4	13
Керівник	Степова О. В.					Структурно-логічна схема досліджень	НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокарискування		
Зав. кафедри	Степова О. В.								

НАСЛІДКИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ АВАРІЙ НА НАФТОПРОВОДАХ

Компонент довкілля

Водні ресурси

Грунтовий покрив

Тваринний світ

Атмосферне повітря

Рослинний світ

Розгерметизація нафтопроводу

Наслідки

–негативний вплив біоценози, тому що їх плівки порушують обмін енергією, теплом, вологою та газами між водою і атмосферою;
 – впливають на фізико-хімічні та гідрологічні умови;
 – викликають загибель риби, птахів та мікроорганізмів;
 – усі компоненти нафти токсичні для організмів, що проживають у водному середовищі;
 – вуглеводи здатні розчиняти ряд інших забруднюючих речовин, таких як пестициди, важкі метали, які разом із нафтою концентруються в приповерхньому шарі і ще більше отруюють водоїму.

– забруднення ґрунтів;
 – втрата земельного фонду;
 – знищення та псування с/г культур і сіножатень;
 – зниження біологічної продуктивності;
 – погіршення родючих та хіміко-біологічних властивостей ґрунту.

– зменшення кількості тварин;
 – розлякування тварин і, як наслідок, залишення ними місця проживання;
 – погіршення середовища і умов проживання тварин;
 – інтоксикація тварин.

забруднення атмосфери оксидом азоту, оксидом дивуглецю, оксидом сірки, сполуками важких металів, летючими органічними сполуками, етиленом та сірководнем.

– знищення рослин;
 – призупинення росту рослин;
 – зміна видового складу рослинного покриття.

601-МТЗ 9599253 МР

Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності

Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата
Розробила	Бондар О. В.				
Керівник	Степова О. В.				
Зав. кафедри	Степова О. В.				

Наслідки для довкілля аварії на нафтопроводах	Стадія	Лист	Листов
Наслідки для довкілля аварії на нафтопроводах	МР	5	13
НУПІП ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокарискування			

Согласовано

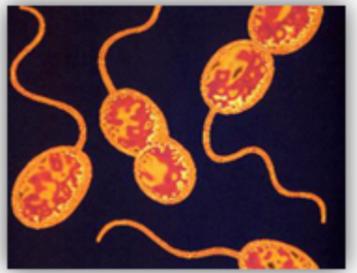
Взам. инв. №

Полп. и дата

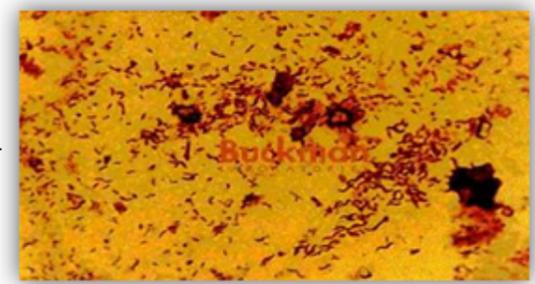
Инв. № подл.

БАКТЕРІЇ, ЩО СПРИЧИНЯЮТЬ БІОКОРОЗІЮ

БАКТЕРІЇ, ЩО СПРИЧИНЯЮТЬ БІОКОРОЗІЮ



Сіркобактерії



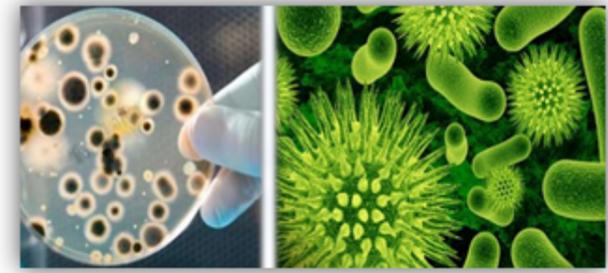
Сірковідновлюючі бактерії (СВБ)



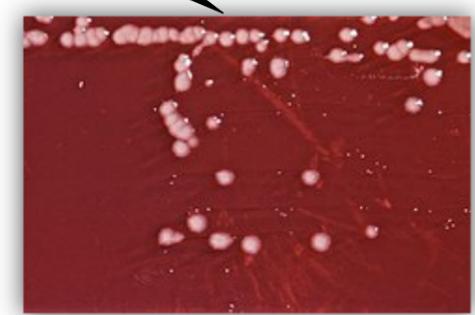
Залізобактерії



Тіобактерії



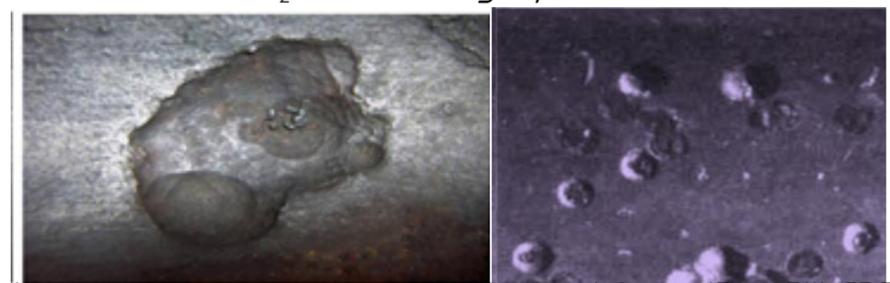
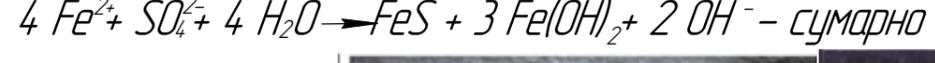
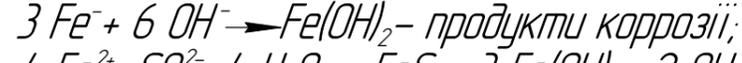
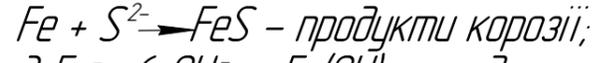
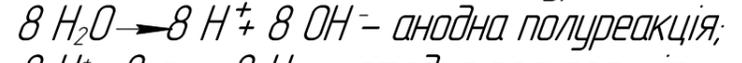
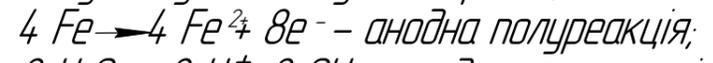
Нафтові бактерії



Денітрифікуючі бактерії

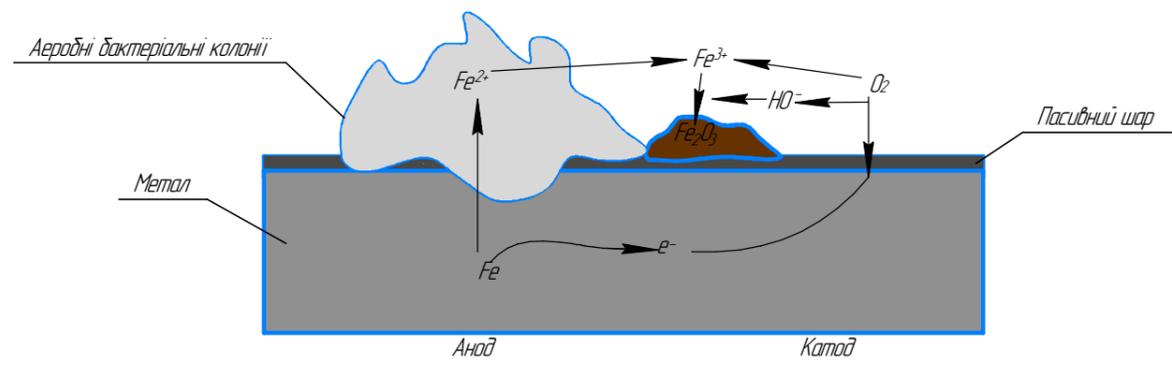
Основні стадії корозійного процесу, що відбувається внаслідок життєдіяльності СВБ,

можуть бути наступними реакціями:



Корозійні виразки на трудній сталі внаслідок дії СВБ

Хімічний процес біокорозії



						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Бактерії, що спричиняють біокорозію	Стадія	Лист	Листов
Разробила	Бондар О. В.					МР	6	13	
Керівник	Степова О. В.					Бактерії, що спричиняють біокорозію, Хімічний процес біокорозії	НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокарискування		
Зав. кафедри	Степова О. В.								

Согласовано

Взам. инв. №

Полп. и дата

Инв. № подл.

ПОКАЗНИКИ ІНТЕНСИВНОСТІ КОРОЗІЇ

Для оцінювання швидкості корозійного руйнування металу використовують показники корозії

Кількісні

Якісні

Масовий показник корозії, $K_{\text{ваз}}$;

$$K_{\text{ваз}} = \frac{g_0 - g_1}{S_0 \tau}, \text{ г/см}^2 \cdot \text{год}$$
 де g_0, g_1 – вага сталевого зразка до і після корозії, г;
 S_0 – площа поверхні аноду, см^2 ;
 τ – час проведення дослід, годин.

Глибинний показник корозії, K_z ;

$$K_z = K_{\text{ваз}} \times \frac{8760}{1000 \times D}, \text{ мм/рік}$$
 де D – питома вага металу трубопроводу (заліза) г/см^3 , $D=7.874 \text{ г/см}^3$

Струмівий показник швидкості корозії, i ;

$$i_p = K_{\text{ваз}} \times 2,68 \times 10^{-3} \times \frac{n}{A},$$
 де n – валентність металу, (для заліза $n = 2$);
 A – атомна маса металу;

Корозійний струм, I .

$$I = i_p \times S_0$$

спостереження зовнішнього вигляду зразків (включають фотографування, замальовку або короткий опис, спостереження за змінами в корозійному розчині);

мікроскопічне дослідження, у тому числі проведення макроструктурного аналізу;

застосування кольорових індикаторів для виявлення анодних і катодних ділянок поверхні металу корозії.

Сопласовано					
Взам. інв. №					
Попл. и дата					
Инв. № подл.					

						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Показники інтенсивності корозії	Стадия	Лист	Листов
Разработила	Бондар О. В.						МР	7	13
Керівник	Степова О. В.					Показники інтенсивності корозії	НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокористування		
Зав. кафедри	Степова О. В.								

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ БІОКОРОЗІЇ

Дослідження показників корозійних процесів проведено у 3 етапи:

I етап

Теоретичні дослідження

Відбір та підготовка проб ґрунту



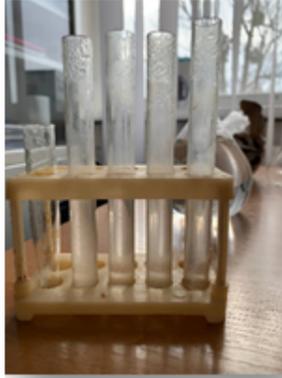
Визначення рН

II етап

Моніторинг зміни едафічних показників у досліджуваних ґрунтах



Підготовка водної витяжки



Випадання білого осаду у водії витягці



						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокоорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Експериментальні дослідження щодо встановлення кількісних показників біокоорозії	Стадія	Лист	Листов
Розробила	Бондар О. В.						МР	8	13
Керівник	Степова О. В.					Дослідження показників корозійних процесів	НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокарискування		
Зав. кафедри	Степова О. В.								

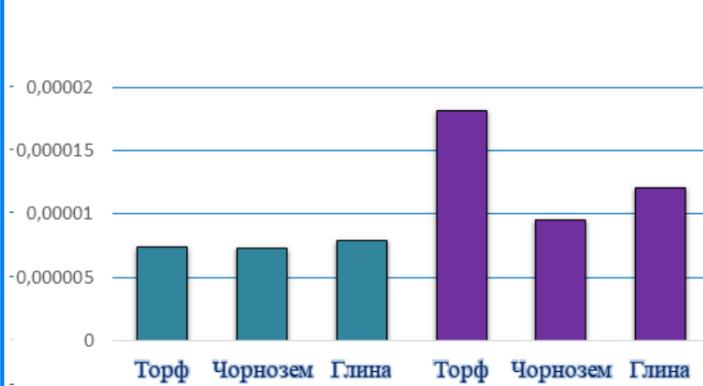
Согласовано	
Взам. инв. №	
Полп. и дата	
Инв. № подл.	

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ КІЛЬКІНИХ ПОКАЗНИКІВ БІОКОРОЗІЇ

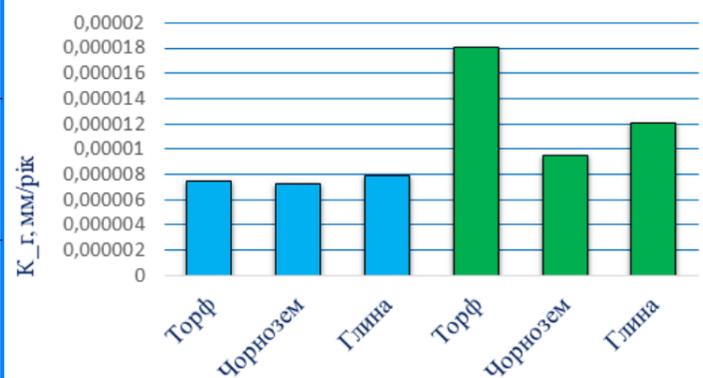
III етап

Розрахунок кількісних показників

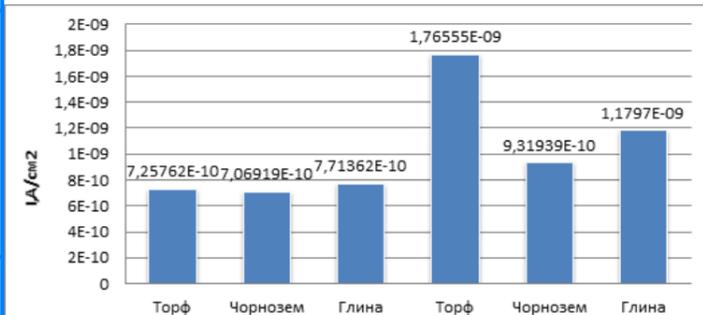
Порівняння залежності кількісних показників загальної та біо-корозії на металеві пластини



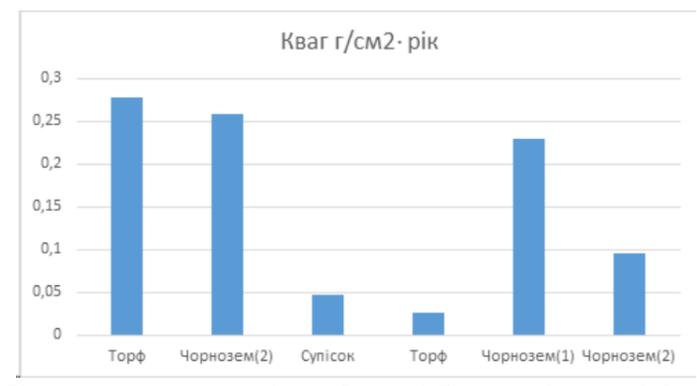
Діаграма залежності швидкості корозії сталі Ст20 в масовому показнику від типу



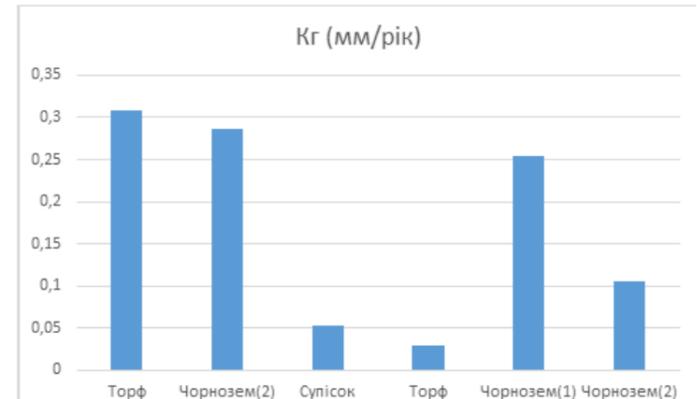
Діаграма залежності швидкості корозії сталі Ст20 в глибинному показнику від типу



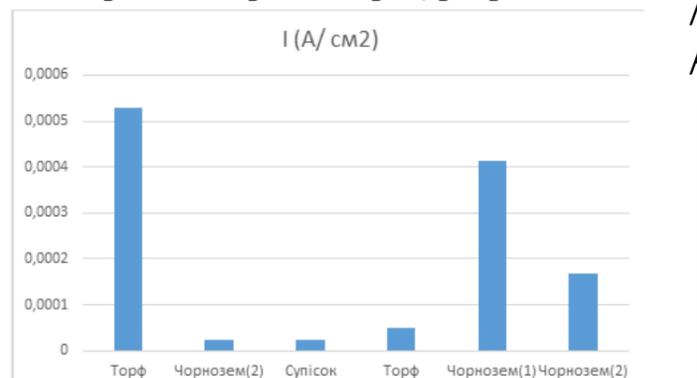
Діаграма залежності швидкості корозії сталі Ст20 в струмовому показнику від типу



Діаграма залежності швидкості біо-корозії сталі Ст20 в масовому показнику від типу ґрунту



Діаграма залежності швидкості біо-корозії сталі Ст20 в глибинному показнику від типу ґрунту



Діаграма залежності швидкості біо-корозії сталі Ст20 в струмовому показнику від типу ґрунту

Результати розрахунків швидкості біо-корозії сталі в ґрунтах у вагових показниках $K_{\text{ваг}}$, глибинних показниках, K_z , та струмовому показнику I

№ з	№ з	Тип ґрунту	$K_{\text{ваг}}$ г/см²·рік	K_z мм/рік	I А/см²
28,0960	26,22	Торф (тепло, відкр. без V_{12})	0,2777	0,3089	$5,3 \times 10^{-4}$
11,9200	11,10	Чорнозем(2) (аеробне, тепло, з V_{12})	0,2580	0,2870	$2,4 \times 10^{-5}$
16,5964	16,52	Супісок (Анаеробне, тепло, без V_{12})	0,0467	0,0519	$2,1 \times 10^{-5}$
4,35618	4,339	Торф (анаеробне, холод, без V_{12})	0,02627	0,0292	$4,9 \times 10^{-5}$
4,26167	4,118	Чорнозем(1) (аеробне, холод, з V_{12})	0,2291	0,2548	$4,1 \times 10^{-4}$
29,0548	28,47	Чорнозем(2) (анаеробне, холод, з V_{12})	0,0947	0,1053	$1,6 \times 10^{-4}$

Експериментально встановлено, що зволожені торф'яні ґрунти мають найбільшу корозійну активність відносно сталі Ст20 за показниками корозії. При порівнянні даних отримані від впливу корозії та біо-корозії, значно небезпечнішою є біо-корозія.

601-МТЗ 9599253 МР

Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біо-корозійної активності

Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Розробила	Бандар О. В.				
Керівник	Степова О. В.				
Зав. кафедри	Степова О. В.				

Експериментальні дослідження щодо встановлення кількісних показників біо-корозії	Стадія	Лист	Листов
	МР	9	13

Розрахунок кількісних показників

НУПП ім. Юрія Кондратюка
Кафедра прикладної екології
та природокористування

Соголасовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ПЛАНУВАННЯ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

В даному дослідженні була випробувана лінійна математична модель (поліном першого порядку):

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

Результати 2-х факторного експерименту

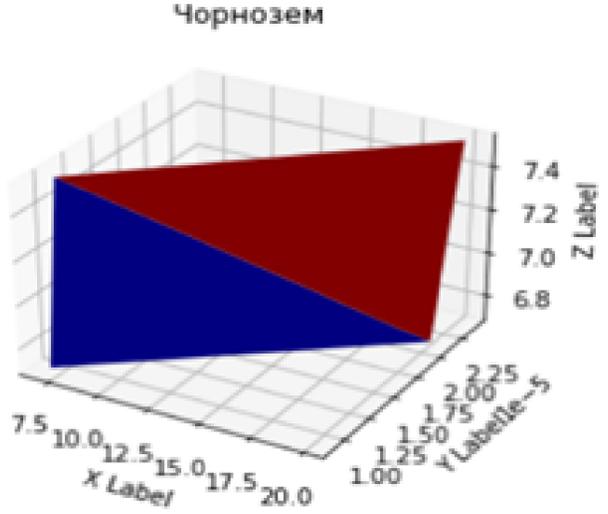
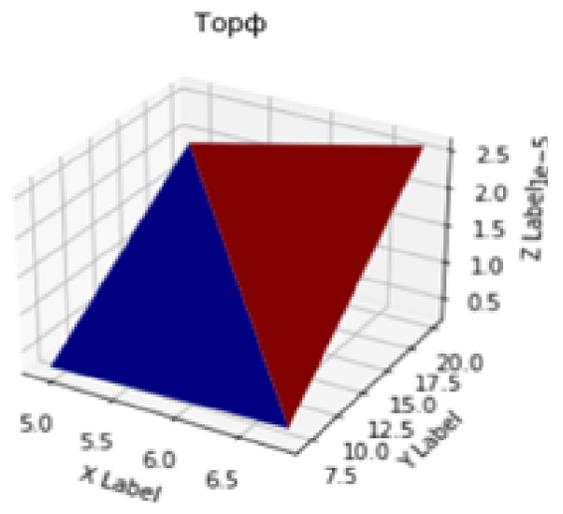
№	Кодові значення факторів		Фізичні значення факторів		Відгуки		Нев'язка
	X ₁	X ₂	X ₁ (рН)	X ₂ (t)	У _e	У _{розр.}	abc
1	2	3	4	5	6	7	8
Торф							
1	+1	-1	6,8	7	0,35 × 10 ⁻⁵	0,5 × 10 ⁻⁵	-0,15
2	-1	-1	4,9	7	0,25 × 10 ⁻⁵	0,11 × 10 ⁻⁵	0,14
3	+1	+1	6,8	20	2,6 × 10 ⁻⁵	2,46 × 10 ⁻⁵	0,14
4	-1	+1	4,9	20	1,9 × 10 ⁻⁵	2,06 × 10 ⁻⁵	-0,16
Σ							-0,03
Чорнозем							
1	+1	-1	7,53	7	1,01 × 10 ⁻⁵	1,0 × 10 ⁻⁵	0,01
2	-1	-1	6,70	7	0,9 × 10 ⁻⁵	0,87 × 10 ⁻⁵	0,03
3	+1	+1	7,53	20	2,4 × 10 ⁻⁵	2,36 × 10 ⁻⁵	0,04
4	-1	+1	6,70	20	2,1 × 10 ⁻⁵	2,15 × 10 ⁻⁵	-0,05
Σ							0,093

Математична модель для визначення швидкості корозії у торфі:

$$i = (-1,97 + 0,21 \text{ рН} + 0,15t) \times 10^{-5}$$

Математична модель для визначення швидкості корозії у чорноземі:

$$i = (-1,48 + 0,25 \text{ рН} + 0,098t) \times 10^{-5}$$



Поверхня відгуку глибинної корозії від рН та температури

601-МТЗ 9599253 МР					
Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності					
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Бондар О. В.				
Керівник	Степова О. В.				
Планування повного факторного експерименту			Стадія	Лист	Листов
Результат 2-х факторного експерименту			МР	10	13
Математична модель для визначення швидкості корозії у чорноземі та торфі			НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокористування		
Поверхня відгуку глибинної корозії від рН та температури					
Зав. кафедри	Степова О. В.				

Соголасовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

РОЗРАХУНОК ГЛИБИНИ БІОКОРОЗІЇ СТАЛЕВИХ НАФТОПРОВІДІВ В ГРУНТОВИХ УМОВАХ ПОЛТАВЩИНИ

Для розрахунку товщини стінки при сталому передуванні агресивного електролітичного розчину в зоні пошкодженої ізоляції враховано закон Фарадея, відповідно до якого корозійна втрата металу розраховується в такий спосіб:

$$M = K \times I \times t \quad 1$$

де M – маса металу, г;

I – струм електрохімічної корозії, А;

t – час, год;

K – електрохімічний коефіцієнт металу, що визначається за формулою,

$$K = \frac{A}{F \times n} \quad 2$$

$$K = M / F = 55,847 / 2 \cdot 26,80139 = 1,04186 \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

(за довідковим матеріалом $K = 1,0424 \text{ г/А} \cdot \text{год}$);

M – хімічний еквівалент, г/моль;

A – атомна вага металу, для заліза $A = 55,847 \text{ г/моль}$;

n – валентність металу, валентність, для заліза $n = 2$;

F – постійна Фарадея, $F = 96485 \text{ А} \cdot \text{с/моль} = 26,80139 \text{ А} \cdot \text{год/моль}$.

Маса втраченого металу нафтопроводу чисельно буде дорівнювати об'єму цього конуса з врахуванням питомої ваги металу D (7,874 г/см³).

Об'єм конуса:

$$V = 1/3 (\pi \times (a_k / 2)^2 \times h_k) = \pi a_k^2 h_k / 12 \text{ мм}^3 \quad 3$$

де a – площа корозійної виразки, мм²;

h – глибина корозійної виразки, мм

Отже, з іншого боку маса втраченого металу дорівнює $m = \frac{\pi a^2}{12} h_k D \quad 4$

Припустимо, що на останній фазі зовнішній діаметр корозійної виразки дорівнює товщині стінки труби або глибини h виразки.

Звідси глибина виразки:

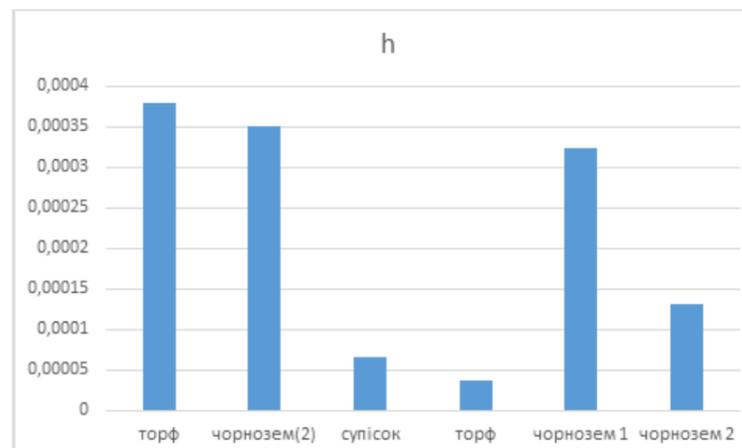
$$h = \frac{12 KI}{\pi \times D \times a^2} t \quad 5$$

де D – питома вага металу трубопроводу (заліза), г/см³;

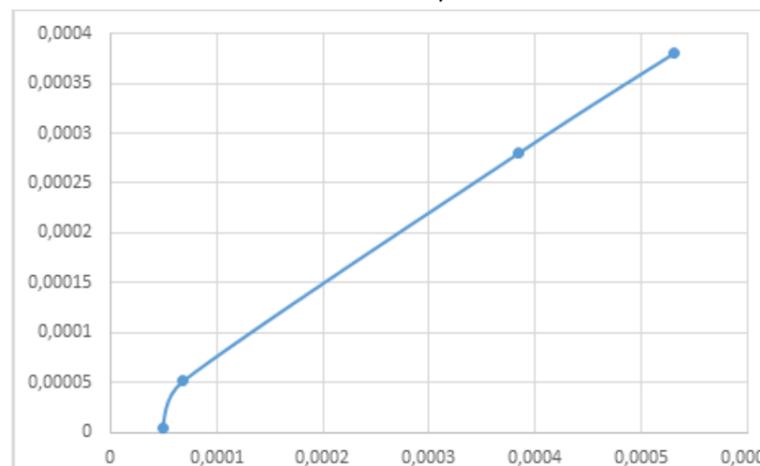
I – струму, який проходить через площу поперечного перерізу поверхні виразки,

А/см

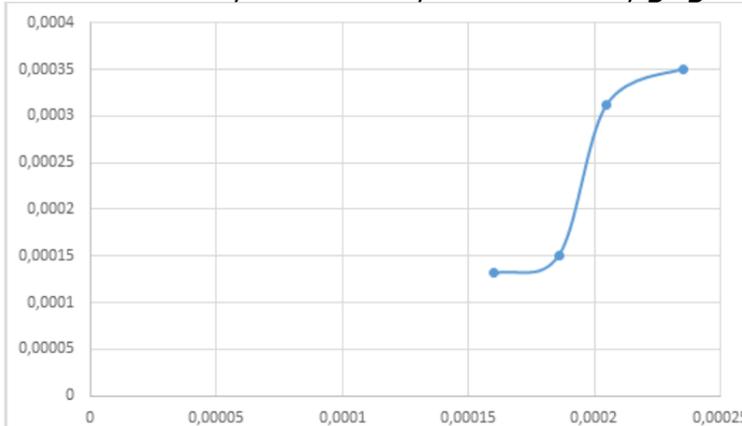
З врахуванням швидкості біоелектрохімічної корозії макрогальванопари, отриманою експериментально можна оцінити глибину корозійних уражень сталі у відповідному корозійному середовищі.



Діаграма залежності глибини біокорозії сталі від типу ґрунту



Графік залежності глибини корозійної виразки від струму біокорозії в торфі



Графік залежності глибини корозійної виразки від струму біокорозії в чорноземі

Соголасовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Розрахунок глибини біокорозії сталевих нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавщини	Стадия	Лист	Листов
Разработила	Бондар О. В.						МР	11	13
Керівник	Степова О. В.					Розрахунок глибини біокорозії сталевих нафтопроводів в ґрунтових умовах Полтавщини	НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокарискування		
Зав. кафедри	Степова О. В.								

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основні положення, наукові результати теоретичних та експериментальних досліджень за напрямком наукової роботи доповідались та обговорювались на наукових, науково-практичних конференціях та семінарах різних рівнів, а саме:

Наукові здобутки

1. Серга Т.М., Бондар О. Екологічні ризики при транспортуванні вуглеводневої сировини. Матеріали XXII Міжнародної наукової конференції «Екологія. Суспільство. Молодь». Київ, НУУ, КПІ.
2. Олена Степова, Оксана Бондар, Карина Белоконь, Вікторія Ерьоменко Запобігання наслідкам розгерметизації сталевих нафтогазопроводів. Підсумкова науково-практична конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузі «Пожежна безпека» та «Цивільна безпека (Цивільний захист)», 15.04.2021, Харків, НУЦЗУ
3. Степова О. В., Бондар О. В. Заходи запобігання розгерметизації сталевих нафтогазопроводів. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів : Збірник матеріалів Київ : Ярочемко Я. В., 2022.С. 122-123
4. Степова О. В., Бондар О.В., Далявська С.І., Мальований М.С. Моніторинг індикаторів біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів : Збірник матеріалів Київ : Ярочемко Я. В., 2022.С. 256-257
5. Степова О. В., Бондар О. В., Куш О. Ю., Степовий Д. Е. Дослідження біокорозійних процесів у ґрунтовому середовищі. Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах нажзвичайних ситуацій» (Україна, Полтава – Львів, 26-27 травня 2022 року) С. 561-563
6. Степовий Е., Бондар О., Степовий Д. Врахування умов розвитку корозійних процесів на ділянках нафтогазопроводів. Матеріали II Всеукраїнської інтернет-конференції «Стратегія сталого розвитку України: сьогодення та перспективи», присвяченої 30-річчю кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, 22 вересня 2022р.
7. Степова О.В., Задорожна С.О., Бондар О.В., Степовий Д.Е. Дослідження біокорозійних процесів у ґрунтовому середовищі. Матеріали III Міжнародної інтернет-конференції «Екологічна безпека сучасні напрямки та перспективи вищої освіти», 25.02.2022, Харків, ХНІ імені В.Н. Каразіна
8. Степова О.В., Бондар О.В., Степовий Д. Врахування умов експлуатації нафтопроводів щодо оцінки біокорозійних процесів. Матеріали Міжнародної наукової конференції за участі молодих науковців «Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування», 21-22.09.22, м. Одеса, ОДЕКУ
9. Степова О., Степовий Е., Бондар О., Степовий Д., Кальна М. Аналіз інтенсивності показників корозії у ґрунтових умовах Полтавщини. Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Environment recovery and reconstruction: war context 2022», 17-18.11.2022 м. Полтава



Соголасовано

Взам. інв. №
Попн. и дата
Инв. № подл.

						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Апробація результатів дослідження	Стадия	Лист	Листов
Розробила	Бондар О. В.						МР	12	13
Керівник	Степова О. В.					Апробація результатів дослідження	НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокористування		
Зав. кафедри	Степова О. В.								

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами магістерської кваліфікаційної можна зробити наступні висновки:

1. Змодельовано процес біоелектрохімічної корозії сталевих пластин в лабораторних умовах та експериментально визначено швидкості біокорозії сталевих пластин. На основі цих даних побудовані графіки динаміки едафічних показників у досліджуваних ґрунтах.
2. Проведено розрахунки швидкості корозії сталі в ґрунтах у вагових показниках $K_{ваг}$, глибинних показниках, $K_г$, та струмовому показнику I . Доведено, що торф'яні ґрунти мають найбільшу біокорозійну активність відносно сталі Ст20 за показником швидкість корозії.
3. За допомогою проведення повного факторного експерименту знайдено математичну модель знаходження швидкості біокорозії у торфі та чорноземі в залежності від показника рН та температури. Розраховано швидкості біокорозії в торфі та чорноземі за запропонованою моделлю.
4. Проведено розрахунки глибини біокорозії в ґрунтових умовах і на основі знайдених даних побудований графік. За результатами побудований графік залежності струму та глибини корозії, з якого випливає, що збільшення показника h прямопропорційна збільшенню показника I .

Согласовано	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

						601-МТЗ 9599253 МР			
						Дослідження ґрунтів Полтавської області щодо їх біокорозійної активності			
Изм.	Кол.ч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	Загальні висновки	Стадия	Лист	Листов
Разработила	Бондар О. В.						МР	13	13
Керівник	Степова О. В.					Загальні висновки	НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокарискування		
Зав. кафедри	Степова О. В.								