# БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра хімії**

Кваліфікаційна робота / проєкт магістра

на тему ВМІСТ СУЛЬФАТІВ, ХЛОРИДІВ ТА ДЕЯКИХ МЕТАЛІВ У СТІЧНИХ ВОДАХ

ЗАПОРІЗЬКОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Виконала: студентка 2 курсу, групи 8.1021 спеціальності 102 Хімія

освітньої програми Хімія Дунаєва З.С.

Керівник доцент, доцент, к.б.н. Генчева В.І.

Рецензент декан біологічного факультету, професор, професор, д.фарм.н. Омельянчик Л.О.

Запоріжжя 2022

|  |
| --- |
| Біологічний факультет |
| Кафедра хімії |
| Рівень вищої освіти магістр |
| Спеціальність 102 Хімія |
| Освітня програма Хімія |

|  |
| --- |
| **ЗАТВЕРДЖУЮ** |
| Завідувач кафедри хімії, д.б.н., проф. |
|  О.А. Бражко |
|  |  |  |  |  |  | « \_» |   | 2021 року |  |
| **З А В Д А Н Н Я**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТЦІ |
| Дунаєвої Злати Сергіївни |
| 1. Тема роботи | Вміст сульфатів, хлоридів та деяких металів у стічних |
| водах Запорізької теплової електричної станції |
| керівник роботи | Генчева Вікторія Іванівна, к.б.н., доцент |  |  |
| затверджена наказом ЗНУ від | « | 12 | » | липня | 2022 р. | № | 834-с |
| 2. Строк подання студентом роботи | 9 грудня 2022 року |  |  |
| 3. Вихідні дані до роботи | огляд наукової літератури, щодо показників |
| забруднення стічних вод, методів очистки стічних вод |
| 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно |
| розробити): | провести хімічний аналіз стічних вод Запорізької ТЕС, |
| розрахувати концентрацій забруднюючих речовин, порівняти отримані |
| результати з гранично допустимими, зробити висновок щодо якості очищення |
| стічних вод |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язковихкреслень): 8 рисунків, 7 таблиць. |

1. Консультанти розділів роботи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Розділ | Консультант | Підпис, дата |
| завданнявидав | завданняприйняв |
| 4 | Петруша Ю.Ю., к.б.н., доцент |  |  |

1. Дата видачі завдання . .2021 р. \_

# КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітки |
| 1. | Огляд літературних джерел. Написання відповідного розділу роботи | жовтень − грудень 2021 | Виконано |
| 2. | Вивчення, засвоєння методик дослідження. Написання відповідного розділу роботи | січень – лютий 2022 | Виконано |
| 3. | Засвоєння правил техніки безпеки під час виконання експериментальної частини. Написання відповідного розділу роботи | квітень − березень 2022 | Виконано |
| 4. | Проведення експериментальних досліджень. Оформлення результатів експерименту (таблиці, рисунки). Написання відповідного розділу роботи | травень, червень, вересень 2022 | Виконано |
| 5. | Оформлення кваліфікаційної роботи. Передзахист роботи | жовтень − листопад 2022 | Виконано |
| 6. | Рецензування кваліфікаційної роботи | грудень 2022 | Виконано |
| 7. | Захист кваліфікаційної роботи | грудень 2022 | Виконано |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студентка |  | З.С. Дунаєва |
| Керівник роботи |  | В.І. Генчева |
| **Нормоконтроль пройде** | **но** |  |
| Нормоконтролер |  | Ю.Ю. Петруша |

РЕФЕРАТ

У роботі 61 сторінка, 7 таблиць, 8 рисунків, було використано 53 літературне джерело, із них 13 іноземною мовою.

Об’єкт дослідження є стічні води Запорізької ТЕС.

Предмет дослідження – показники забруднення стічних вод.

Мета роботи – порівняти концентрації забруднюючих речовин у стічних водах з гранично допустимими для оцінки стану забруднення стічних вод Запорізької ТЕС.

Методи досліджень та апаратура – гравіметрія, аргентометричне титрування, фотометрія, ваги лабораторні електронні «KERN» ABJ 120-4M, колориметр фотоелектричний КФК-3, аналізатор нафтопродуктів «МІКРАН». Встановлено, що результати аналізів за місяць та річний звіт, який представлений хімічною лабораторією стічних вод, показують, що концентрації забруднуючих речовин у стічних водах не виходять за межі

допустимих норм.

Методи очищення технологічної води та очисні споруди є ефективними. Запорізька ТЕС не шкодить гідросфері та дотримується усіх вимог та норм до очистки відпрацьованих вод після технологічних процесів.

СТІЧНІ ВОДИ, СУЛЬФАТИ, ХЛОРИДИ, КУПРУМ, ФЕРУМ, НАФТОПРОДУКТИ

ABSTRACT

61 pages, 7 tables, 8 figures are in this paper. 53 references, including 13 foreign language were used.

The object of the study is wastewater from the Zaporizhzhya TPP. The subject of the study is indicators of sewage pollution.

The purpose of the work is to compare the concentrations of pollutants in wastewater with the maximum permissible for assessing the state of wastewater pollution of the Zaporizhzhya TPP.

Research methods and equipment – gravimetry, argentometric titration, photometry, laboratory electronic scales «KERN» ABJ 120-4M, photoelectric colorimeter KFK-3, oil product analyzer «MICRAN».

It was established that the results of analyzes for the month and the annual report, which is presented by the chemical laboratory of wastewater, show that the concentrations of pollutants in wastewater do not exceed the limits of permissible norms.

Process water treatment methods and treatment facilities are effective. Zaporizhzhia TPP does not harm the hydrosphere and complies with all requirements and norms for the treatment of waste water after technological processes.

WASTEWATER, SULPHATES, CHLORIDES, COPPER, FERRUME, PETROLEUM PRODUCTS

ЗМІСТ

|  |  |
| --- | --- |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ................................................... | 7 |
| ВСТУП ......................................................................................................... | 8 |
| 1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ ................................................ | 11 |
| 1.1 Класифікація стічних вод ................................................................. | 11 |
| 1.2 Класифікація речовин, що забруднюють стічні води ..................... | 11 |
| 1.3 Нафтопродукти. Класифікація. Методи дослідження ....................... | 12 |
| 1.4 Очищення стічних вод .......................................................................... | 14 |
| 1.5 Нейтралізація стічних вод ................................................................ | 16 |
| 1.6 Окиснення стічних вод ......................................................................... | 17 |
| 1.7 Коагуляція стічних вод ......................................................................... | 20 |
| 2 Матеріали та методи дослідження ...................................... | 23 |
| 2.1 Об’єкт дослідження ............................................................................... | 23 |
| 2.2 Хімічні методи дослідження ................................................................ | 23 |
| 2.3 Гравіметричний метод аналізу ............................................................. | 23 |
| 2.4 Титриметричний метод ......................................................................... | 27 |
| 2.5 Аргентометричне титрування .............................................................. | 31 |
| 2.6 Статистична обробка експериментальних даних ............................... | 33 |
| 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .................................................... | 36 |
| 3.1 Нормативні документи ......................................................................... | 36 |
| 3.2 Обладнання ............................................................................................ | 29 |
| 3.3 Особливості реакцій та результати дослідження ............................... | 44 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХСИТУАЦІЯХ ............................................................................................... | 48 |
| ВИСНОВКИ ................................................................................................. | 54 |
| ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ................................................................. | 55 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ............................................................................... | 56 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

визн. реч. – визначувана речовина г – грам

г/моль – грам на моль

г/моль-екв – грам на моль еквівалентів гр. ф. – гравіметрична форма

Гц – Герц

кг – кілограм

м/с – метр на секунду мг – міліграм

мл – мілітр мм – міліметр

моль/л – моль на літр нав. – наважка

нм – нанометр

рН – водневий показний с – секунда

тис. – тисяча

титр. – титрований розчин хв – хвилина

ГДК – гранично допустима концентрація ГДС – гранично допустимий скид

ПЕШ – подвійний електричний шар ТЕС – теплова електрична станція

ВСТУП

Запорізька ТЕС займає перше місце за встановленою електричною потужністю серед інших теплоелектростанцій України. Підприємство надає електроенергію півдню України. Станція розташована за 135 км на Південь від міста Запоріжжя і за 4 км від міста Енергодар.

Сировиною для вироблення електричної енергії теплової станції є кам’янне вугілля, мазут та газ. При спалюванні однієї з цих речовин нагрівається котел, у якому знаходиться технічна очищена вода, яка випаровується; при цьому пар змушує рухатися лопатям парової турбіни.

В паровій турбіні відбувається перетворення механічної енергії в електричну, що супроводжується конденсацією води, яка в подальшому скидується у Каховське водосховище [1].

Промислові стічні води – це води утворені після використання води в технологічних процесах на промислових підприємствах, які скидають у канали.

Стічні води після відпрацювання забруднюються такими речовинами, як сульфати, хлориди, метали Ферум та Купрум, нафтопропродукти, фосфати, нітрати, нітрити тощо.

Найнебезпечнішими речовинами вважають нафтопродукти, які негативно впливають на екологію та здоров’я людини. Нафтопродуктами є суміш аліфатичних, аліциклічних і ароматичних вуглеводнів. Вміст нафтопродуктів у воді суворо нормується спеціальними документами.

На всіх підприємствах, які скидують воду після всіх технологічних процесів, є спеціальні лабораторії, які проводять хімічний, фізико-хімічний та санітарно-біологічний аналіз для визначення складу відпрацьованих вод.

Хімічний метод дозволяє визначити загальні показники якості, що характеризують її мінеральний склад, рівень вмісту металевих домішок,

Показники органолептичного дослідження надають інформацію про зовнішній стан води: її прозорість, колір, смак, запах [1, 2].

Одним з найважливіших світових завдань є захист води від забруднення, а також ефективне і економічне використання води в промисловості.

Сучасними підходами до очистки води є екологічна відповідальність промислових підприємств в сфері скидання стічних вод: регулювання і нормативи, зміни в законодавстві про водовідведення.

Не менш важливим, є контроль складу і властивостей стічних вод за діючими правилами та моніторинг якості стічних вод.

Окрім того, необхідно уникати помилок при вирішенні питань очищення стічних вод промислових підприємств [2].

Мета роботи – порівняти концентрації забруднюючих речовин у стічних водах з гранично допустимими для оцінки стану забруднення стічних вод Запорізької ТЕС.

Завдання роботи:

1. провести хімічний аналіз стічних вод Запорізької ТЕС;
2. розрахувати концентрацій забруднюючих речовин;
3. порівняти отримані результати з гранично допустимими;
4. зробити висновок щодо якості очищення стічних вод. Об’єктом роботи є стічні води Запорізької ТЕС.

Предметом роботи є показники забруднення стічних вод.

Методи досліджень та апаратура – гравіметрія, аргентометричне титрування, фотометрія, ваги лабораторні електронні «KERN» ABJ 120-4M, колориметр фотоелектричний КФК-3, аналізатор нафтопродуктів «МІКРАН».

За матеріалами досліджень кваліфікаційної роботи магістра опубліковано 2 тез (Міжнародні конференції):

1. Генчева В.І., Дунаєва З.С. Визначення основних показників забруднення у стічних водах Запорізької теплової електричної станції. *The 12 th International scientific and practical conference “International scientific innovations in human life”* (June 8-10, 2022) Cognum Publishing House,

Manchester, United Kingdom. 2022. С. 199-202.

1. Дунаєва З.С., Генчева В.І. Аналіз стічних вод Запорізької теплової електричної станції. *IX Міжнародна науково-практична конференція «Modern research in world science».* Україна, Львів, 28-30.11.2022 р. С. 397-399.

За участь у Х Регіональній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Актуальні проблеми та перспективи розвитку природничих, медичних та фармацевтичних наук» нагороджена грамотою

«За кращу доповідь на секційному засіданні».

1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

* 1. Класифікація стічних вод

Стічні води – води, які використав побутовий споживач або виробництво для своїх потреб; внаслідок цього вони змінюють хімічний склад або фізичні властивості; води, що стікають у результаті випадання атмосферних опадів чи поливання вулиць [3, 4].

В залежності від джерела походження, типу і складу домішок, стічні води поділяють на 3 групи:

1. виробничі (промислові);
2. господарсько-побутові;
3. дощові (атмосферні).

Виробничі води формуюються під час технологічних процесів виробництва.

Господарсько-побутові стічні води – це продукти життєдіяльності людини, банно-пральні та кухонні стоки. Вони не змінюють свій хімічний склад, що пояснюється фізіологією людини та її діяльністю у господарстві [5]. Основними забруднюючими речовинами у стічних водах є хлориди, метали Fe та Cu, cульфати, а також нітрити, нітрати, завислі речовини й

нафтопродукти [5, 6].

* 1. Класифікація речовин, що забруднюють стічні води

Речовини, що забруднюють стоки, за природою поділяють на:

* + домішки мінерального походження;
	+ домішки органічного походження;
	+ мікроорганізми [7-10].

До мінеральних відносять розчини мінеральних кислот, солей та лугів, пісок, глину та шлак.

За походженням органічні забруднюючі речовини поділяють на рослинні та тваринні.

Рослинні забруднювачі у своєму складу мають остачу овочів або фруктів, рослин, плодів, злаків та Карбон у вигляді клітковини.

Тваринні забруднювачі мають відходи людей або тварин та Нітроген, який входить до складу сполук білкової природи [8].

Стічні води, окрім Карбону та Нітрогену, ще можуть містити Калій, Сульфур, Натрій, Фосфор та багато інших хімічних елементів з системи Менделеєва Д.І. [9].

Хвороботворні бактерії, дріжджові та плісняві грибки, дрібні водорослі в свою чергу відносяться до мікроорганізмів, що забруднюють стічні води.

Забруднювачі в залежності від фізичного стану можуть бути:

1. домішки, які нерозчиняються – великі завислі частинки з діаметром понад 0,1 мм і у вигляді емульсії, суспензії і піни (частинки діаметром від 0,1 мм до 0,1 мкм);
2. частинки-колоїди з діаметром від 0,1 мкм до 0,001 мкм;
3. частинки, які розчиняються з діаметром менше 0,001 мкм.

Розмір частинок, густина та швидкість пересування стічних вод визначають за їх розчинністюу воді (погано розчині спливають на поверхню, інші знаходяться у завислому стані або осідають на дно) [9, 10].

* 1. Нафтопродукти. Класифікація. Методи дослідження

У середині XIX століття використовували обладнання для того, щоб відігнати з нафти гас, який потім використовували для освітлення, а з інших продуктів відгонки отримували паливо.

Хімічний склад нафти такий: 90-98% складає Карбон і Гідроген, невелика кількість Оксигену (до 1%), Сульфур – до 3%, Нітроген – до 0,4%, незначна кількість Ванадію, Ніколу, Титану, Калію, Фосфору, Германію.

Нафта складається з суміші низькокиплячих (температура кипіння вища до 360 0С) і висококиплячих вуглеводнів (360 0С) [11].

До низькокиплячих вуглеводнів відносять: алкани (парафіни, метанові вуглеводні CnH2n+2; алкени (циклопарафіни, нафтени) СnН2n; алкіни (поліметилени, трициклопарафіни) СnН2n–2; циклоалкадієни СnН2n–4; бензени CnH2n–6; біциклічні арени CnH2n–12 [11-16].

До класу висококиплячих вуглеводнів відносять високомолекулярні парафіни, моно-, бі- і три циклічні циклопарафіни, ди- і трициклічні арени.

Переробка нафти сприяє утворенню рідкого і газоподібного палива, різних розчинників, мастил, масла, парафіни, бітумів, окремих вуглеводнів – газів (пропілен, етилен), рідин (бензен, толуол, ксилол).

Рідке паливо поділяють на моторний бензин, паливо для тракторів, дизелів, котлів, реактивних двигунів тощо [12].

Моторний бензин використовують для двигунів внутрішнього згорання (транспорти пересування і інші установки), який відповідає вимогам: детонаційна стійкість на певному рівні, корозійностійкість, хімічна стабільність, фракційний склад [13, 14].

Паливо для котлів спалюють на тепловозах, пароплавах та теплових електростанціх, до нього відносять мазут і паливо для мартеніських печей.

Мeтoди, що використовують для аналiзу нафти, нафтопродуктiв та вуглeводнeвих газiв рeгламeнтуються дeржавними стандартами i тexнiчними yмoвами.

Найбільш поширеним методом за кордоном є рідинна хроматографія на силікагелі при використанні індикаторів, що флуоресціюють.

Значне поширення, особливо за кордоном, при груповому аналізі вуглеводневих сумішей, одержав метод рідинної хроматографії на силікагелі за наявності індикаторів, що флуоресціюють (або люмінесціюють) [15, 16].

Схема рідинного хроматографа представлена на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 − Схeмa рiдиннoгo хрoматoграфа: 1,2 – сyдини з рiдиною; 3,4 – нaсoси; 5 – контролер; 6 – камера змішувача; 7 – інжектор;

8 – хроматографічна колонка; 9 – детектор; 10 – реєстратор; 11 – автоматична обробка результатів аналізу; 12 – колектор фракцій; 13 – термостат

У колонку, де знаходиться силікагель, додають аналізовану пробу з незначною кількістю люмінесцентних індикаторів (добре розчиняються в аренах, в інших вуглеводнях – погано). При УФ-випромінюванні ділянки колонки з аренами відбувається яскраво-блакитна флуоресценція. За відношенням висоти ділянки цієї зони до висоти шару адсорбенту знаходять вміст нафтенів та аренів у пробі нафтопродуктів.

У рiдинно-рiдинній хроматографiї молекули зразка розподiляються мiж рiдинними нерухомою i рухомою фазами (подiбно рiдинній екстракцiї), якi не повиннi розчинятися одна в однiй [17, 18].

* 1. Очищення стічних вод

Для того, щоб видалити забруднюючі речовин зі стічних вод, що шкодять здоров’ю людини, застосовують різні методи очищення.

Розрізняють наступні методи очищення стічних вод:

* механічні (відстоювання, фільтрація, проціджування, дроблення);
* хімічні (окиснення, нейтралізація, відновлення, коагуляція, флокуляція);
* фізико-хімічні (флотація, сорбція, екстракція, евапорація, іонний обмін, електрохімічні методи (електрокоагуляція, електроосмос, електродіаліз));
* біологічні (біофільтри, біологічні ставки, аеротенки);
* комбіновані [19].

Очищення стічних вод в Україні дає можливість певних переваг для виробництв:

− повторно використовувати воду, яка відповідає санітарним нормам;

− заощаджувати у майбутньому та обминати штрафів від органів контролю;

− зменшити негативний вплив стоків, що забруднюються небезпечними речовинами, на здоров’я людей та навколишнє середовище [20].

* 1. Нейтралізація стічних вод

Нейтралізацію роблять з метою, щоб стоки були близькі до нейтрального середовища (рН = 6,5-8,5). Цю процедуру проводять для стічних вод з рН < 6,5 (кисле середовище) і з рН > 8,5 (лужне середовище).

Нейтралізація відбувається при змішуванні кислих стічних вод з лугами та додаванням реактивів або фільтрацією через нейтралізуючі матеріали [21].

Щоб визначити кількість реактиву, необхідного для нейтралізації застосовують формулу 1.1 [22]:

|  |  |
| --- | --- |
| 𝑘 ∙ 𝑉ст ∙ 𝑚𝑄𝑝 = 𝐵 | (1.1) |

де k – коефіцієнт запасу реагенту; В – вміст активної речовини у стічній воді; 𝑉ст – об'єм стічних вод, м3; т − витрата реагенту для нейтралізації активних речовин, кг/м3

Кислі стоки мають більш негативний вплив на навколишнє середовище.

Нейтралізацію при хімічному очищенні можна проводити за допомогою трьох способів:

− змішування лужних і кислих стічних вод;

− нейтралізація за допомогою реагентів (кальцій оксид − CaO, кальцію гідроксид – Ca(OH)2, розчини кислот, натрій карбонат – Na2CO3, натрій гідроксид – NaOH, амоній гідроксид – NH4OH);

− фільтруванням через нейтралізуючі матеріали (кальцій оксид – CaO, доломіт – CaCO3∙MgCO3, магнезит – MgCO3, крейда – CaCO3,) [21-23].

Для того, щоб обрати правильний спосіб нейтралізації необхідно врахувати наступні фактори: присутність; режим подачі і витрати відпрацьованих вод на нейтралізацію; концентрацію кислот.

Наприклад, при рівномірній подачі стічних вод, які у своєму складі мають сильні кислоти, проводять нейтралізацію реагентами, а саме розчином вапняку (CaCO3) і вапна (CaO) [23].

Стічні води, що містять сульфатну (H2SO4), хлоридну (HCl) або нітратну (HNO3) кислоту при рівномірній подачі нейтралізують за допомогою фільтрування через шари крейди (CaCO3), доломіту (CaMg(CO3)2 або MgCO3∙СaCO3).

Стічні води, які забруднені мінеральними кислотами, фільтрують через шар доломітового фільтра-нейтралізатору, що зображений на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Вертикальний доломітовий фільтр-нейтралізатор: 1 – подавання кислих стічних вод; 2 – приймальна камера; 3 – доломітовий фільтр; 4 – гравій; 5 – дренаж; 6 – випуск нейтралізованих стічних вод

При цьому протікає така хімічна реакція:

CaCO3 ∙ MgCO3 + 4HNO3 → Ca(NO3)2 + Mg(NO3)2 + 2H2O + CO2

Після того, як закінчилось фільтрування відпрацьований доломіт прибирають з фільтра і замінюють на новий [22-25].

В процесі нейтралізації важливо вимірювати рН на виході із нейтралізатора. Автоматика забезпечує безпечну та стабільну роботу фільтра.

* 1. Окиснення стічних вод

Якщо стічні води містять токсичні сполуки або домішки, яких неможливо позбутись, то застосовують окиснення для знешкодження стічних вод. У якості окислювачів використовують хлор – Cl2, оксид Хлору (IV) –

Cl2O4, хлорне вапно – Ca(ClO)2, озон – O3, кальцій і натрій гіпохлорид – CaClO і NaClO, кисень О2, технічний кисень тощо.

Хлор або хлоровмісні реагенти можуть бути у різних агрегатних станах, тому в залежності від стану обирають технологію обробки стічних вод.

При використанні газоподібного хлору або озону процес окиснення проводять у контактних камерах або окислювальних колонках (рис. 1.3).

При використанні рідких окиснювачів процес починають у змішувачі; потім проводять у контактному резервуарі [24].



Рисунок 1.3 – Контактна камера озонування стічних вод: 1 – подавання стічних вод; 2, 5 – камера озонування; 3 – введення озону; 4 – металокерамічні розпилювальні труби; 6 – вивід стічних вод

Отруйні речовини, в процесі окиснення, стають нетоксичними або випадають до осаду, який обов’язково відфільтровують.

При додаванні хлору до стічної води відбувається гідроліз, що призводить до утворення хлорної та хлорнуватистої кислоти:

𝐶𝑙2 + 𝐻2𝑂 ↔ 𝐻𝐶𝑙 + 𝐻𝑂𝐶𝑙

Хлор є слабкішим окисником, ніж озон. Він при нормальній температурі руйнує велику кількість органічних домішок і речовин [25].

Озон можна отримати в озонаторах на очисних спорудах. При електричному розряді у кисневому середовищі між двома електродами при дії напруги 5-25 кВ утвориться озон.

На прикладі окиснення, гідроген сульфід можна побачити принцип дії озону при різних його концентраціях:

Н2𝑆 + 𝑂3 → 𝑆 + 𝑂2 + 𝐻2𝑂

Якщо взяти надлишок озону, то утвориться сульфатна кислота:

3 𝐻2𝑆 + 4𝑂3 → 3𝐻2𝑆𝑂4

На наступному етапі відбувається гідроліз сульфатної кислоти до нетоксичних продуктів [26].

За допомогою озонування можна одночасно знебарвити воду, усунити неприємний присмак або запах. Озонування використовують для очищення стічних вод від нафтопродуктів, поверхнево-активних речовин (ПАР), фенолів, пестицидів тощо.

Процес окиснення речовини озоном відбувається у будь-який зі таких способів:

1. безпосереднє окиснення за участі одного атома кисню;
2. приєднання цілої молекули озону до речовини, що окиснюється з утворенням озонідів;
3. окиснювальна дія кисню за допомогою каталізатора − озону.

До стічної води додають не чисто озон, а озоново-кисневу суміш з концентрацією озону близько 3%. Для того, щоб підсилити процес окиснення суміш диспергують на малі бульбашки газу [27-29].

Для того щоб розрахувати витрати озону, який необхідно для окиснення, використовуються рівняння масообміну (1.2):

|  |  |
| --- | --- |
| 𝑄 = 𝛽𝑝 ∙ 𝐹 ∙ ∆𝑝, | (1.2) |

де 𝛽𝑝 – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі при протіканні в ній хімічної реакції, м/с; 𝐹 − витрата озону, що переходить із газової фази в рідку, кг/с; р –поверхня контакту фаз, м2; ∆𝑝 – рушійна сила процесу, кг/м8

* 1. Коагуляція стічних вод

Процес, при якому відбувається укрупнення дисперсних частинок за рахунок їхньої взаємодії і утворення агрегатів називається коагуляцією. Коагуляцію застосовують, коли необхідно пришвидшити процес осадження мілкодисперсних домішок та речовин-емульсій [30].

Коагуляція здатна видалити з води частинки розміром 1-100 мкм, які називають колоїдно-дисперсними. Цей процес може бути довільним або за допомогою введення спеціальних добавок – коагулянтів.

У воді коагулянти знаходяться у вигляді пластівців гідроксидів металів, які під впливом сил тяжіння осідають на дно. Через те що, частинки колоїдів володіють слабким негативним зарядом, а пластівці коагулянтів – слабкий позитивний, разом вони притягуються один до одного [30, 31].

На поверхні колоїдних частинок утворюється подвійний електричний шар (ПЕШ). Одна частина ПЕШ знаходиться у фіксації на поверхні розділу фаз (нерухлива фаза), а друга утворює іонну хмару і незафіксована (рухлива фаза, дифузійний шар). Між рухливою і нерухливою фазами виникає різниця потенціалів, що має назву дзета-потенціал або електрокінетичний потенціал.

Значення дзета-потенціалу залежить від термодинамічного потенціалу Е (різниця потенціалу поверхні частинок та потенціалу рідини) та від товщини ПЕШ.

Дзета-потенціал вказує значення електростатичних сил відштовхування через які частинки не злипаються одна з однією. Колоїдна система має високу стабільність обумовлену негативним зарядом і невеликими розмірами колоїдних частинок [31].

Для того, щоб почалась коагуляція обов’язковою умовою є зниження дзета-потенціалу до критичного значення, чого можна досягти добавлянням позивно заряджених іонів. Після досягнення умови починається процес коагуляції, колоїдні частинки стають нестабільними через те, що стали електронейтральними. Кожен іон-коагулянт має свою валентність, чим вона вища, тим він ефективніше.

На початку процесу коагуляції між частинками діють сила взаємнопритягання і хімічної спорідненості. Частинки зближуються через броунівській рух та ламінарний потік води [30].

Коагулянти – це солі сильних кислот та слабких основ. Найпоширеніші коагулянти − солі алюмінію і феруму, їх суміші, можливо використовують солі магнію і титану.

Коагулянти гідролізуються до золей гідроокисів, що представляють собою поверхню і продукти гідролізу сорбують на ній певні домішки. Частки підвергаються збільшенню, тобто коагулюють, і осаджуються з колоїдними і завислими речовинами.

Сумарні реакції гідролізу коагулянтів алюміній сульфату, алюміній гідроксохлориду і ферум (III) хлориду можна представити у такому вигляді:

𝐴𝑙2(𝑆𝑂4)3 + 6𝐻𝑂𝐻 ↔ 2𝐴𝑙(𝑂𝐻)3 + 3𝐻2𝑆𝑂4 2𝐴𝑙3+ + 6𝐻𝑂𝐻 ↔ 2𝐴𝑙(𝑂𝐻)3 + 6𝐻+

𝐴𝑙2(𝑂𝐻)5𝐶𝑙 + 𝐻𝑂𝐻 ↔ 2𝐴𝑙(𝑂𝐻)3 + 𝐻𝐶𝑙 [𝐴𝑙2(𝑂𝐻)5]+ + 𝐻𝑂𝐻 ↔ 2𝐴𝑙(𝑂𝐻)3 + 𝐻+

𝐹𝑒𝐶𝑙3 + 3𝐻𝑂𝐻 ↔ 𝐹𝑒(𝑂𝐻)3 + 3𝐻𝐶𝑙

𝐹𝑒3+ + 3𝐻𝑂𝐻 ↔ 𝐹𝑒(𝑂𝐻)3 + 3𝐻+

Алюміній гідроксохлорид кращий коагулянт в порівнянні з алюміній сульфатом. Його використовують в більшому інтервалі рН, через його високу коагуляційну здатність. Даний коагулянт утворює великі розміри пластівців, які осаджуються з великою швидкістю. Хлорид-іони, що входять до складу коагулянту, забезпечують утворення стійких коагуляційних структур, які при перемішуванні не руйнуються. Також з економічної точки зору вигідно використовувати алюміній гідроксид тому, що витрата менше на 25-30%, ніж алюміній сульфату [30, 31].

При використанні алюміній сульфату у воді з високою жорсткістю утворюються кальцій та магній сульфати. Катіони алюмінію та аніони- сульфату утворюють стійкий комплекс, через що потрібно додавати більше коагулянту, щоб розпочалась коагуляція.

Більші переваги має алюміній гідроксохлорид.

Ферум хлорид (FeCl3) може коагулювати при низьких температурах, а алюміній сульфат (Al2(SO4)3)– практично ні. Ферум хлорид має недолік в тому, що утворює забарвлені комплекси з органічними лігандами, які наявні у воді. Щоб позбутись недоліків у розглянутих коагулянтів можна змішати їх і отримати коагулянт з цінними властивостями. Експериментально знайдене

ідеальне співвідношення коагулянтів – FeCl3 : Al2(SO4)3 = 1 : 1 [30].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

* 1. Об’єкт дослідження

Об’єктом дослідження є стічні води, що викидає Запорізька ТЕС.

* 1. Хімічні методи дослідження

Хімічні методи аналізу засновані на хімічних реакціях речовини, що досліджується. До них відносять гравіметричний (ваговий) та титриметричний (об’ємний) методи [32].

* 1. Гравіметричний метод аналізу

Гравіметричний метод – це хімічний метод аналізу, який заснований на визначенні маси досліджуваної речовини. Речовина може випасти в осад або залишатись у початковому стані.

Аналіз володіє високою точністю, але є дуже енергозатратним.

Гравіметричні методи дослідження розрізняють на три групи, в залежності від того яким способом виділяється досліджувана речовина:

1. метод відгонки;
2. метод виділення;
3. метод осадження [33-36].

За допомогою методу відгонки досліджувана речовина перетворюється у летку речовину за допомогою реагенту, після цього її відганяють і поглинають речовиною-поглиначем. Поглинач збільшує свою масу, за

різницею збільшення маси, визначають кількість аналізованої сполуки. Це приклад прямої відгонки [33].

При непрямому методі відгонки масу досліджуваної сполуки розраховують за різницею маси до і після відгонки.

У методі виділення компонент, який визначають, виділяють у вільному стані і зважують на аналітичних вагах.

Метод осадження проводять шляхом переведення наважки речовини у розчин, при цьому утворюється малорозчинний осад досліджуваної речовини. Після цього осад фільтрують, промивають дистильованою водою, висушують, прожарюють у муфельній печі та зважують на аналітичних терезах [34, 35].

Щоб отримати кристалічний і аморфний осади, необхідний надлишок осаджувача більш, ніж у повторі зі звичайний об’ємом і умови, при яких компонент буде повістю осаджуватись.

Концентрація досліджуваного компоненту не має бути більшою, ніж 10-6-10-4 г/л, бо аналітичні терези мають обмеження в цих межах.

До осаджувача висуваються такі вимоги:

* він повинен утворювати найменш розчинну сполуку;
* він має бути летким або його домішки, які будуть знаходитись в осаді, руйнуватись при прожарюванні;
* взаємодіяти лише з йонами, які осаджують, тобто бути специфічним [36].

У гравіметричному аналізі розрізняють форму осадження та гравіметричну форму осаду. Форма, у вигляді якої переводять компонент, що визначають, до осаду − форма осадження; форма сполуки, яку отримують після прожарювання осаду – гравіметрична форма.

Форма осадження має бути:

* малорозчинною для повного осадження визначуваного елемента;
* повністю і легко переходити у гравіметричну форму. Гравіметрична форма повинна задовольняти таким вимогам:
* її склад описує певна хімічна формула,
* стійкість до зовнішнього середовища (не повинна взаємодіяти ні з чим, не вбирати вологу або Карбону (IV) оксид [37].

Маса наважки аналізованої речовини є важливим параметром у гравіметрії. В залежності від вибору методу аналізу і типу осаду маса наважки корегується. Підбирають значення маси таким чином, щоб вона не була малою чи великою. Якщо взяти мало наважки, то отримаємо при виконанні велику похибку. У другому випадку виділиться багато осаду, який не вдасться промити.

Експериментально визначили, що найкраще брати наважку речовини таку, щоб отримати 0,5 г гравіметричної форми при кристалічному осаді і 0,1-0,3 г – при аморфному [38].

Масу наважки речовини що аналізують, обчислюють за формулами 2.1-2.2.

* у випадку осадження, у формі кристалічного осаду:

|  |  |
| --- | --- |
| 0,5 ∙ 𝑚 ∙ 𝑀визн.реч.𝑚нав = 𝑛 ∙ 𝑀гр.ф. | (2.1) |

* у випадку осадження, у формі аморфного осаду:

|  |  |
| --- | --- |
| 0,1∙𝑚∙𝑀визн.реч.𝑚нав = ,𝑛∙𝑀гр.ф. | (2.2) |

де 𝑀визн.реч. – молярна маса визначуваної речовини, г/моль;

𝑀гр.ф. – молярна маса гравіметричної форми, г/моль; m і n – коефіцієнти, г; 0,5 і 0,1 – раціональні наважки речовини, в залежності від типу осаду

Вміст речовини, що визначають, знаходять за формулами 2.3-2.4:

|  |  |
| --- | --- |
| 𝑚 = 𝐹 ∙ 𝑚нав. | (2.3) |

|  |  |
| --- | --- |
| 𝑚гр.ф. ∙ 𝐹 ∙ 100𝑊 =𝑚нав. | (2.4) |

де 𝑚гр.ф. – маса гравіметричної форми, г; 𝑚нав. – маса наважки, г; F – фактор перерахунку [39]

Фактор прерахунку знаходять за формулою (2.5):

|  |  |
| --- | --- |
| 𝑚 ∙ 𝑀виз.реч.𝐹 =𝑛 ∙ 𝑀гр.ф. | (2.5) |

де 𝑀виз.реч. – молярна маса визначуваної речовини, г/моль; 𝑀гр.ф. – молярна маса гравіметричної форми, г/моль; m і n – відповідні коефіцієнти

Основним приладом, який використовують в кількісному аналізі, є аналітичні терези. Зазвичай використовують терези, які зважують тіла до 200 г з точністю до 0,0002 г.

Схема найбільш розповсюджених аналітичних терезів, які використовують в гравіметрії представлена на рис. 2.1 [40].



Рисунок 2.1 − Аналітичні терези: 1 – гвинтові ніжки; 2 – дискова рукоятка аретиру; 3 – стрілка; 4 – ваги для регулювання нульової точки; 5 – гак для аретиру; 6 – горизонтальний стержент; 7 – площадка зважування;

8 – сережки; 9 – шкала циферблату; 10 – шкала коромисла; 11 – горизонтальний стержень

* 1. Титриметричний метод

Титриметричний аналіз базується на вимірюванні об’єму розчину з відомою концентрацією, який витратили для взаємодії з речовиною, що досліджують [38].

Гравіметрія вважається більш точнішим аналізом в порівнянні з титриметрією, але для нього необхідно багато часу. Титриметричний аналіз виконується значно швидше.

Титрування – це додавання по краплям розчину з відомою концентрацією до розчину, що досліджують. Розчин з відомою концентрацією називають титрантом або робочим розчином [39].

Процес титрування проводять до моменту настання точки еквівалентності – це момент, коли речовини взаємодіють між собою за законом еквівалентів. Точку еквівалентності неможливо побачити без додавання індикаторів.

Індикатор – спеціальна речовина, яка при різних умовах має різний колір. Індикатор підбирають під тип хімічної реакції.

Титрування закінчують проводити при досягненні точки еквівалентності, тобто коли індикатор змінить свій початковий колір.

Після закінчення процесу титрування визначають об’єм робочого розчину, який витратили на взаємодію з досліджуваною речовиною, і за формулою дізнаються вміст речовини [40].

До реакцій титриметричного аналізу висуваються наступні вимоги:

1. стехіометричність, тобто, проходити згідно з рівнянням реакції;
2. кількісність, тобто, повнота проходження повинна складати не менше 99,9%;
3. специфічність дії титранту;
4. велика щвидкість реакції;
5. надійність способу фіксування точки еквівалентності;
6. відсутність заважаючих речовин [40, 41].

В залежності від типу реакції, що лежить в основі титрування, розрізняють наступні методи аналізу:

1. метод кислотно-основного титрування: метод заснований на реакції нейтралізації (взаємодії кислот з лугами), в результаті якої змінюється кислотність розчину під час титрування.

Показник рН різко змінюється при досягненні точки еквівалентності на що вказують рН індикатори, які змінюють свій кольор в залежності від середовища [41].

1. метод окисно-відновного титрування: метод заснований на реакції окиснення-відновлення. Під час титрування змінюється потенціал розчину на що вказують окисно-відновні індикатори, які змінюють при цьому забарвлення.
2. метод осадження і комплексоутворювання: ці методи об’єднані в одну групи через те, що вони пов’язані між собою. Під час реакцій осадження можуть утворюватися комплексні сполуки, а під час комплексоутворення речовини випадати в осад [41, 42].

Точку еквівалентності знаходять за допомогою індикатору або взагалі без нього, в залежності від методу титрування.

За способом титрування розрізняють методи прямого і непрямого титрування.

В методах прямого титрування йон чи компонент, що визначається, титрують титрованим розчином або навпаки.

До методів непрямого титрування належать метод заміщення та метод зворотного титрування (метод залишків).

Метод заміщення полягає в тому, що йони, які визначаються, заміщують еквівалентною кількістю інших йонів, які вже можна визначити прямим титруванням. Даний метод використовують, якщо є труднощі з фіксацією точки еквівалентності.

Метод зворотного титрування (метод залишків) полягає в тому, що до розчину, що аналізується, додають точно відомий надлишок титрованого розчину реактиву і титрують цей надлишок відповідним робочим розчином. Метод застосовують в тому випадку, коли немає відповідного індикатора для визначення точки еквівалентності, або, коли реакція проходить надто повільно [42].

Масу наважки, необхідної для приготування заданого об’єму стандартного розчину відомої концентрації розраховують за формулою (2.6) [41]:

|  |  |
| --- | --- |
| 𝐶н,і ∙ 𝑉і ∙ 𝑀е,і𝑚і = 1000 | (2.6) |

де 𝐶н,і – молярна концентрація еквівалента стандартного розчину, моль- екв/л; 𝑀е,і – молярна маса еквівалента речовини, г/моль-екв; 𝑉і – об’єм розчину, мл

Вміст речовини за методом окремих наважок при прямому титруванні обчислюють за формулами 2.7-2.9 [42]:

|  |  |
| --- | --- |
| 𝐶титр. ∙ 𝑉титр. ∙ Ме,А𝑚А = 1000 | (2.7) |

|  |  |
| --- | --- |
| 𝑚А = 𝑉титр. ∙ 𝑇В/А | (2.8) |

|  |  |
| --- | --- |
| СН,титр ∙ 𝑉титр. ∙ Ме,А ∙ 100𝑊А, % = 1000 ∙ 𝑚нав. | (2.9) |

де 𝑉титр. – об’єм титрованого розчину, мл; СН,титр – молярна концентрація еквівалента титрованого розчину, моль-екв/л; Ме,А – молярна маса еквівалента речовини, що визначається, г/моль-екв; 𝑇В/А – титр титрованого розчину В за речовиною А, г/мл; 𝑚нав. – маса наважки, г

* 1. Аргентометричне титрування

Аргентометрія – титриметричний метод, який базується на реакціях осадження галоген-іонів, CN–, NCS– та інших за допомогою іонів Аргентуму [41].

В основі методу лежить реакція:

Х– + Ag+ → AgХ↓ (Х= Cl–, Br–, I–, CN–, NCS–)

𝐵𝑟−).

Існує чотири методи аргентометрії:

1. метод Мора

Метод Мора є прямим способом титруванням іонів-галогенідів (𝐶𝑙−,

Титрант – 0,1 М, 0,05 М або 0,01 М розчин AgNO3. Індикатор – розчин K2CrO4.

Умови титрування – слабкокисле середовище, яке роблять додаванням

розведеної НNO3, відсутність іонів Pb2+, Ba2+, Hg 2+, Bi3+, PO 3–, CO 2–, C O 2–,

2

AsO 3– та інших, які реагують з K CrO або AgNO .

4 2 4 3

4 3 2 4

Поява червоно-оранжевого осаду свідчить про кінець титрування і досягнення точки еквівалентності. Також можна використати фізико-хімічні методи встановлення кінцевої точки – амперометрію, потенціометрію, кондуктометрію.

Титрант взаємодіє з досліджувальним розчином за такою реакцією:

𝐴𝑔+ + 𝑋− → 𝐴𝑔𝑋 ↓ (𝑋 = 𝐶𝑙−, 𝐵𝑟−)

Надлишкова крапля титранту, починаючи взаємодію з індикатором, призводить до утворення осаду червоно-оранжевого кольору, який свідчить про кінець титрування [41, 42]:

2𝐴𝑔+ + 𝐶𝑟𝑂2− → 𝐴𝑔2𝐶𝑟𝑂4 ↓

4

1. метод Фольгарда (роданометрія, тіоціонатометрія)

Метод Фольгарда є зворотнім способом титруванням іонів-галогенідів, CN–, NCS–, S2–, CO 2–, CrO 2– та ін.

3 4

Титрант – 0,1 М, 0,05 М або 0,01 М розчини AgNO3 і 0,1 М, 0,05 М, 0,01 М розчини NH4NCS або KNCS.

Індикатор – насичений розчин NH4[Fe(SO4)2]. Умови – сильнокисле середовище.

До досліджуваної речовини додають надлишок титранту [40]:

𝐴𝑔+ + 𝑋− → 𝐴𝑔𝑋 ↓

При цьому не всі іони провзаємодіяли з визначуваними, тому їх надлишок відтитровують другим титрованим розчином:

Ag+ + NCS– → AgNCS↓

Поява рожевого або червоного кольору осаду свідчить про кінець титрування.

Fe3+ + 3NCS– → [Fe(NCS)3]

В порівнянні з методом Мору, метод Фольгарду не заважають катіони Pb2+, Ba2+, Hg 2+ тощо [42].

2

1. метод Фаянса-Ходакова

Метод Фаянса-Ходакова є прямим способом визначення іонів Cl−, Br−, I–, CN–, NCS–-іонів.

Титрант – 0,1 М або 0,05 М розчин AgNO3.

Індикатор – еозин, флуоресцеїн або інші адсорбційні індикатори. Умови – рН ≈ 2 при використанні у якості індикатору еозину,

рН = 7-10 – для флуоресцеїну.

Різка зміна кольору осаду з білого до рожевого-червоного при використанні флуоресцеїну, з білого до рожевого – при еозину, свідчить про настання точки еквівалентності [41].

1. Метод Гей-Люссака

Титрант – 0,1 М або 0,05 М розчин AgNO3. Індикатор – не потрібен.

Умови титрування − слабкокисле середовище, яке роблять додаванням

розведеної НNO3, відсутність іонів Pb2+, Ba2+, Hg 2+, Bi3+, PO 3–, CO 2–, C O 2–,

2

AsO 3– та інших, які реагують з K CrO або AgNO .

4 2 4 3

4 3 2 4

Припинення утворення осаду солі Аргентуму та посвітлення розчину вказує на кінець титрування [42].

* 1. Статистична обробка експериментальних даних

Більшість робіт з хімії, що містять результати експериментів, носять порівняльний характер і часто при аналізі одержаних даних обмежуються простим зіставленням між собою середніх величин.

Перший ряд робіт вимагає доказів достовірності відмінностей або кореляційних зв’язків, визначення яких, дає можливість переконатися, що знайдені закономірності носять не випадковий характер, а є цілком реальними. Статистична обробка передбачає отримання наступних показників:

n – загальне число вимірювань; х – середня арифметична величина; σ – середнє квадратичне відхилення; m – похибка середньої; t – критерій достовірності відмінностей Ст’юдента [43].

Середні арифметичні величини (х) розраховували за формулою 2.10:

*X*  *X* 1  *X* 2  *X* 3 ...*X n*

*n*

  *X*

*n*

, (2.10)

де Σ – символ суми; Х1, Х2 – значення окремих вимірювань; n – загальна кількість випадків

Також визначають середнє квадратичне відхилення (Sn), яке вираховували за формулою 2.11:

( *X*  *X* )2  ( *X*  *X* )2  ( *X*  *X* )2

*Sn*  1 2 *n* , (2.11)

*n*  1

де Х1, Х2, Xn– значення окремих вимірювань; n – загальна кількість випадків

Достовірність x̅ , Sn та ін. показників встановлюють за рахунок помилки репрезентативності або середньої похибки (ɛ), що випливає з вибіркового обстеження, при якому ціла або генеральна сума характеризується на основі вивчення вибірки [44].

Середня арифметична величина – характеристика показника вимірювання. При одній і тій же середній величині можна спостерігати відхилення. Тобто при обробці експериментальних даних доцільне введення показника мінливості ознаки [43, 44].

Таким показником є середнє квадратичне відхилення (σ), яке розраховували за формулою 2.12:

  

( *X*  *X* )2

*n* 1

, (2.12)

де в чисельнику – сума квадратів відхилень значень від середньої арифметичної; у знаменнику – число ступенів свободи, яке дорівнює числу спостережень без одного

Достовірність вибіркових показників X, σ можуть встановити за рахунок помилки репрезентативності чи середньої похибки (mх); це може випливати з вибіркового обстеження, але ціла (генеральна сукупність) враховується на основі вивчення частини (вибірки).

Інтервал довірчий – інтервал, що здатен оцінити з певною точністю невідоме значення генеральної сукупності. Це значення є довірчим, а його границі – довірчими границями, тобто верхніми та нижніми границями).

В цих межах може бути будь-який рівень упевненості, що мають в наявності конкретне значення ознак генеральної сукупності. Довірчий інтервал визначають за формулою 2.13:

  *t* 

*n*

, (2.13)

де έ – довірчий інтервал; t – критерій Ст’юдента;

σ – середнє квадратичне відхилення; n – загальне число випадків (при n = 3, t = 4,3; а при n = 5, t = 2,78)

Кінцеве значення записують у вигляді x̅ ± ε [45].

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

* 1. Нормативні документи

Відбір проб стічних вод проведено відповідно графіку відбору, затвердженого головним інженером ДТЕК ЗАПОРІЗЬКА ТЕС, та узгодженого з директором Департаменту екології та природних ресурсів Запорізької облдержадміністрації.

При вимірюванні застосовані такі основні засоби вимірювальної техніки:

− аналізатор нафтопродуктів у воді «Мікран» №187, свідоцтво про повірку №1555-ФХ чинне до 22.06.22 р.;

− колориметр фотоелектричний КФК-3 №9111731, чинне до 10.11.22 р.;

− ваги лабораторні електронні «KERN» ABJ 120-4M, №WB0640160, свідоцтво про повірку №11-4114-19 чинне до 19.10.22 р.

Вимірювання проведені відповідно до методик виконання вимірювань допущених до використання та наведених у «Переліку методик виконання вимірювань (визначень), складу та властивостей проб об’єктів довкілля, викидів, відходів і скидів». Шифри застосованих МВВ за переліком представлені в табл. 3.1.

Метою водокористування є власні виробничі, питні і санітарно-гігієнічні потреби та передача води вторинним водокористувачам. Встановлені ліміти представлено у табл. 3.2-3.3.

Таблиця 3.1 – Перелік методик виконання вимірювань з шифрами

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Назва | Шифр |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації сульфатів гравіметричнимметодом. | MBB 081/12-0007-01 |
| 2 | Поверхневі та очишені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрашії хлоридів методомаргентометричного титрування. | MBB 081/12-0004-01 |
| 3 | Методика екстракційно-фотометричного визначення міді з діетилдітіокарбоматомПлюмбуму в поверхневих та стічних водах | КНД 211.1.4.035-95 |
| 4 | Методика фотометричного визначенняФеруму з ортофенонтроліном в поверхневих та стічних водах. | КНД 211.1.4.034-95 |
| 5 | Поверхневі та очищені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації розчинених фосфатівфотометричним методом. | MBB 081/12-0005-01 |
| 6 | Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом.Грісса в поверхневих та очищених стічнихводах. | КНД 211.1.4.023-95 |

Таблиця 3.2 – Ліміти забору води

|  |  |
| --- | --- |
| Показник | Обсяги води |
| м3/добу\* | тис.м3/рік |
| 1 | 2 | 3 |
| Забір води, усього | 3549122,3 | 1033051,11 |
| у тому числі: | – | – |
|  |
| у поверхневих джерел | 3549122,3 | 1033051,11 |
| (Каховське |  |  |
| водосховище) |  |  |
| з підземних джерел | – | – |
| (окремо для кожного |  |  |
| річкового басейну) |  |  |

Примітка. \* − Максимальний обсяг забору за добу протягом року з урахуванням сезонного режиму роботи

Таблиця 3.3 – Ліміти скидання забруднюючих речовин для точки скиду у Каховське водосховище

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/ п | Забруднюючі речовини, скидання яких нормується | Концентрація, мг/дм3 | Гранично-допустимі концентрації,мг/дм3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | Нафтопродукти | 0,0095 | 1,26 |
| 3 | Ферум | 0,196 | 1,19 |
| 4 | Купрум | < 0,01 | 0,06 |
| 5 | Фосфати (аніон) | 0,185 | 14,1 |
| 6 | Нітрати (аніон) | 2,463 | 4,0 |
| 7 | Нітрити (аніон) | < 0,03 | 0,82 |

На рис. 3.1 представлене порівняння фактичних концентрацій з гранично-допустимими впродовж року.

0.5

0.42417

0.4

0.341

0.31548

0.3

0.2

0.186

0.1

 0.0019 0.00003

0.00043 0

0

Сульфати

Хлориди

Ферум

Купрум

Фактична концентрація,

мг/дм3

Затверджені гранично-допустимі концентрації, мг/дм3

36

08

Рисунок 3.1 − Вміст сульфатів, хлоридів, Феруму, Купруму у стічних водах Запорізької ТЕС за рік

* 1. Обладнання

Автоматичний аналізатор вмісту нафтопродуктів у промислових і стічних водах МІКРАН зображений на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Аналізатор нафтопродуктів «МІКРАН»

«МІКРАН» – це експресний автоматичний пристрій для визначення концентрації нафтопродуктів у воді (підземній, стічній, питній, поверхневій тощо). Всередині аналізатору відбувається пробовідбір, дозування розчиннику, що екстрагує, процес екстракції, розділення, вимірювання оптичної густини нафтопродуктів в екстракті, відновлення розчинника, полоскання та сушка кювети, розрахунок концентрації нафтопродуктів.

Технічні дані «МІКРАНУ» представлені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні дані аналізатору нафтопродуктів «МІКРАН»

|  |  |
| --- | --- |
| Об'єм проби для аналізу | 0,15 л |
| Час виконання аналізу | 4-5 хвилин |
| Похибка аналізу | ≤ ±20% відносної похибки |
| Потужність пристрою | 60 Вт |
| Вага | 8 кг |
| Розміри | 480×225 ×130 мм |

Фотометричним методом визначають нітрати, нітрити, фосфати та Ферум при цьому використовують колориметр фотоелектричний КФК-3, зображений на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Колориметр фотоелектричний КФК-3

Технічні дані колориметру фотоелектричного КФК-3 наведені у табл.

3.5.

Фотометр КФК-3 призначений для дослідження різних як рідких, так і

твердих матеріалів, що пропускають світло у видимому спектральному діапазоні та (або) ближніх ІЧ та УФ діапазонах. А саме, КФК-3 вимірює коефіцієнт пропускання, оптичну щільність досліджуваних рідин та твердих зразків, а також визначає концентрації розчинених речовин у розчинах та швидкість зміни оптичної щільності речовини.

Таблиця 3.5 – Технічні дані колориметру фотоелектричного КФК-3

|  |  |
| --- | --- |
| Спектральний діапазон роботи фотометра | 315-990 нм |
| Диспергуючий елемент | Дифракційна решітка |
| Межі виміру: |  |
| – коефіцієнта пропускання (в діапазоні вимірюваннякоефіцієнтів пропускання від 0,1 до 1 або оптичної щільності від 2до 3 похибка не нормується) | 0,1...100% |
| – оптична плотність | 0...3 |
| Межа значення основної абсолютноїпохибки фотометра при вимірюванні коефіцієнта пропускання | Не більше 0,5 % |
| Межа допустимого середньоквадратичного відхилення випадкової складової основної абсолютноїпохибки | Не більше 0,15 % |
| Додаткова похибка фотометра під час вимірювання коефіцієнта пропускання вінтервалі температур від 10 до 35°С | Не більше 0,3 % |
| Джерело випромінювання | фотодіод ФД 288Б |
| Робоча довжина кювет (набір кювет №2) | 50, 30, 20, 10 и 5 мм |
| Живлення фотометра від мережі змінногоструму напругою | 220±22 В, 50/60 Гц |
| Розміри | 500 х 360 х 165 мм |
| Вага | 15 кг |

Гравіметричним методом визначають концентрацію сульфатів у стічних водах, при цьому використовують лабораторні електронні ваги «KERN» ABJ 120-4M, зображені на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Ваги лабораторні електронні «KERN» ABJ 120-4M

Технічні дані лабораторних електронних ваг «KERN» ABJ 120-4M проілюстровані у табл. 3.6.

Вони є відносно недорогими, але мають високу точність визначення маси. У своїй будові мають калібрувальну гирю, яка забезпечує автоматичне калібрування ваг. Ці ваги включені до переліку засобів вимірювальної техніки України.

Отримані результати при дослідженнях порівнюють з максимальними допустими концентраціям, які прописані в документах (гранично допустимі скиди – ГДС, гранично допустимі концентрації − ГДК).

Таблиця 3.6 – Технічні дані лабораторних електронних ваг

«KERN» ABJ 120 -4M

|  |  |
| --- | --- |
| Максимальна вага зважування | 120 г |
| Мінімальна вага зважування | 10 г |
| Дискретність | 0,1 мг |
| Лінійність | ±0,2 мг |
| Діаметр платформи | 80 мм |
| Маса ваг | 8 кг |
| Розміри ваг | 250×315×300 мм |

При виявленні порушень норм ГДК та ГДС роблять висновок про неякісну очистку стічних вод перед скидом у водосховище. В подальшому вирішуть питання про заміну або ремонт очисних споруд, в іншому випадку ‒ підприємство буде негативно впливати на навколишнє середовище [25].

* 1. Особливості реакцій та результати дослідження

Основними показниками, які визначали у стічних водах є сульфати, хлориди, метали (Fe, Cu), нафтопродукти, аніони фосфатів, нітратів, нітритів. Сульфати у стічних водах визначали за допомогою гравіметричного методу, який заснований на осадженні сульфат-іонів SO 2- за допомогою

4

розчину барію хлориду (BaCl2) у слабкокислому середовищі.

При цьому виконувалась наступна реакція:

Na2SO4 + BaCl2 = BaSO4↓ + 2 NaCl

Кількість сульфат-іонів (мг/дм3) розраховують за формулою 3.1:

|  |  |
| --- | --- |
| (𝑚1 − 𝑚2) ∙ 0,4115 ∙ 1000Х = 1,03 ∙ + 4,𝑉 | (3.1) |

де 1,03 і 4 – коефіцієнти, які враховують втрати сульфатів під час гравіметрії; 𝑚1 – маса тиглю з осадом, мг; 𝑚2 – маса тиглю, мг; 0,4115 – коефіцієнт перерахунку; 𝑉 – об’єм аналізованої проби, см3

Хлориди у стічній воді визначали за допомогою аргентометричного титрування за методом Мора.

Титрант взаємодіє з досліджувальним розчином за такою реакцією:

𝐴𝑔𝑁𝑂3 + 𝑁𝑎𝐶𝑙 → 𝐴𝑔𝐶𝑙 ↓ +𝑁𝑎𝑁𝑂3

Надлишкова крапля титранта, починаючи взаємодію з індикатором, призводить до утворення осаду червоно-оранжевого кольору, який свідчить про кінець титрування:

2𝐴𝑔+ + 𝐶𝑟𝑂2− → 𝐴𝑔2𝐶𝑟𝑂4 ↓

4

Якщо концентрація хлоридів менше або дорівнює 50 мг/дм3 використовують аргентум нітрат з концентрацією 0,02 моль/дм3, якщо більше 50 мг/дм3, то 0,05 моль/дм3 AgNO3.

Значення концентрації хлорид-іонів (мг/дм3) розраховують за формулою 3.2:

|  |  |
| --- | --- |
| 35,45 ∙ (𝑉титр.р−ну − 𝑉хол) ∙ С𝐴𝑔 ∙ 1000 Х = ,𝑉1 | (3.2) |

де 35,45 – молярна концентрація хлорид-іону, г/моль; 𝑉титр.р−ну – об’єм розчину аргентум нітрату, який витратили на титрування хлорид-іонів у пробі, см3; 𝑉хол – об’єм розчину аргентум нітрату, який витратили на титрування хлорид-іонів у холостій пробі, см3, С𝐴𝑔 – концентрація розчину аргентум нітрату, моль/дм3; 𝑉𝑎 – об’єм досліджуваного розчину, см3

Купрум визначали за допомогою екстраційно-фотометричного методу.

Спочатку Купрум екстрагують за допомогою натрію діетилдитіокарбамату і Карбону чотирьохлористого у ділильній лійці:



Забарвлений жовтий шар зливають до контрольних пробірок, після чого визначають оптичку щільність на колориметрі.

Ферум визначали фотометричним методом.

Ферум (II) при рН = 3-9 утворює комплексну сполуку оранжево- червоного кольору під час взаємодії з орто-фенантроліном:



Якщо у воді наявні катіони Fe3+, то їх окиснюють до катіонів Fe2+ за допомогою гідроксиламіну за реакцією:

2 Fe3+ + 2 NH2OH + HCl = 2 Fe2+ + N2 + 2 H2O +2 HCl + 2 H+

Таким чином, отримаємо в результатах концентрацію Феруму в загалому.

Було проведено порівняння отриманих результатів, з затвердженими гранично допустими концентраціями, для того, щоб оцінити рівень забруднення стічних вод Запорізької ТЕС впродовж місяця табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Концентрації забруднюючих речовин стічних вод Запорізької ТЕС впродовж місяця (n=3, P < 0,95)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Забруднюючі речовини,скидання яких нормується | Концентрація,мг/дм3 | Гранично допустиміконцентрації, мг/дм3 |
| Сульфати | 40,22±4,02 | 93,0 |
| Хлориди | 31,95±3,20 | 135,0 |
| Нафтопродукти | 0,0095±0,002 | 1,26 |
| Ферум | 0,196±0,029 | 1,19 |
| Купрум | < 0,01±0,00 | 0,06 |
| Фосфати (аніон) | 0,185±0,028 | 14,1 |
| Нітрати (аніон) | 2,463±0,609 | 4,0 |
| Нітрити (аніон) | < 0,03±0,00 | 0,82 |

Отже, нами проаналізовано результати досліджень щодо концентрації забруднюючих речовин впродовж місяця та річний звіт хімічної лабораторії стічних вод Запорізької ТЕС.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Тема моєї кваліфікаційної роботи магістра «Вміст сульфатів, хлоридів та деяких металів у стічних водах Запорізької теплової електричної станції».

Дослідження проводилось в хімічній лабораторії для аналізу стічних вод Запорізької ТЕС.

Перед початком роботи в лабораторії керівник дав мені інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки згідно з інструкціями №60, №62, №99. Основні небезпечні виробничі фактори при виконанні роботи: скляний посуд, кислоти та луги, електроприлади, робота за комп’ютером [46].

Під час проведення дослідів дотримувалися всіх правил безпеки.

У розглянутих умовах можливими забруднювачами повітря є органічні кислоти та розчинники.

Техніці безпеки слід приділяти увагу при роботі у хімічній лабораторії.

Якщо неправильно експлуатувати хімічний посуд, реактиви, нагрівальні й електричні прилади можна отримати різного роду ушкодження (травми). Нещасні випадки відбуваються в наслідок недотримання правил безпеки у хімічній лабораторії або через недбайливість лаборанту [47].

При роботі з хімічними реактивами (кислотами, лугами тощо) одяг працюючого у хімічній лабораторії може ними забруднитись, тому кожен у лабораторії повинен працювати у халаті.

При потраплянні якої-небудь хімічної речовини на руки миттєво необхідно промивати їх з водою [46-48].

Існують випадки хімічного отруєння через потрапляння шкідливих речовин під нігті, після чого у їжу.

Правила роботи з хімічним посудом:

* посуд необхідно обережно тримати в руках та не стискати його пальцями;
* заборонено різко ставити на стіл керамічний або металевий хімічний посуд;
* обережно мити посуд скляною паличкою або йоржем, бо стінки та дно посуду хрупкі і їх легко пробити [47];
* для роботи під вакуумом слід спочатку перевірити скляний товстостінний апарат або прилад, тому що він може не витримати робочого розрідження й роздавитись тиском атмосфери, а також перевірити інші вакуум-прилади;
* відривати скляні пробки, що застрягли у посуді, можна спробувати легенько постукуючи дерев’яним молотком по ній або обвити горло тканиною й лити гарячу воду на неї, одночасно при цьому намагатись повернути пробку;
* посуд, у якому зберігається луг, не закривати скляними притертими пробками;
* при порізі склом ретельно оглянути рану та, якщо є, уламки скла, які треба витягнути пінцетом, а потім обмити водою, намастити йодом і закрити рану (лейкопластирем чи бинтом) [48];
* для розрізання скляних трубок або ціпки, необхідно обгорнути руку рушником.

Правила роботи з хімічними реактивами:

− перед тим, як приступити до роботи з реактивами необхідно вивчити властивості реактивів, приділити увагу отруйності, вогненебезпечності та перспективи утворення вибухових сумішей при взаємодії з іншими речовинами [49];

− розчини лугів та кислот з великими концентраціями, які часто використовуються у хімічній лабораторії необхідно тримати в скляних ємностях (1-2 л) з підкладкою із пластмаси або скла зі стійкості до дії кислот та лугів;

− при розведенні слід додавати кислоту до води, ні в якому випадку не навпаки, бо кислота може скипіти або розбризкатись;

− при переливанні кислот, що димлять, надягати респіратор, протигаз, засоби, що захищають дихальні шляхи, та очі (захисні окуляри), роботу проводити суворо у витяжній шафі [49, 50];

− якщо сталось пролиття кислоти на підлогу, її негайно посипають піском, який в наступному збирають і виносять з лабораторії, облите місце обмивають розчином соди;

− якщо кислота потрапила на ділянку тіла, то уражене місце промивають великою кількістю води, а потім обробляють розведеним розчином соди;

− отруйні речовини пересипають або переливають у витяжній шафі, одягають гумові рукавиці та протигаз, роблять це з великою обережністю, щоб не просипати або пролити речовини на поверхню робочого столу під витяжною шафою [50];

− при переміщенні великих сулій з реактивами використовувати спеціальні носилки та з допомогою іншої людини;

− шматки твердого лугу не можна брати руками, при роботі використовувати тигельні щипці та гумові рукавиці;

− при дробленні великих кусків лугу надягають захисні окуляри, гумові рукавиці та захищають голову та волосся від попадання шматків лугу, що розлітаються та які викликають хворобливі опіки [51];

− розчинення їдких лугів проводять у порцеляновому або термічно стійкому посуді через утворення великої кількісті тепла;

− зважування твердих лугів проводять у порцеляновій або скляній ємності;

− якщо кислота потрапила на ділянку тіла, то уражене місце нейтралізують кислотою (краще оцтовою), а потім промивають водою;

− розчини лугів і тверді луги зберігають в добре закритому посуді, не закриваючи притертими скляними пробками [51, 52];

− концентрований розчин аміаку (у лабораторії використовують 25%-й водний розчин) переливають у маленькі ємності тільки під витяжною шафою у протигазі;

− вогненебезпечні речовини зберігають у невеликих кількостях в лабораторії;

− роботу з вогненебезпечними речовинами проводять подалі від включених нагрівальних приладів або вогню;

− рідини, які мають неприємний запах, зберігають під витяжкою;

− у кімнатах, де зберігаються отруйні речовини заборонено приймати їжу через ризик отруєння;

− реактиви, які здатні взаємодіяти з іншими реактивами, зберігають окремо один від одного [52].

Правила роботи з нагрівальними приладами:

− гарячий посуд ні в якому разі не можна брати голими руками, для цього використовують гумові напальнички;

− у хімічній лабораторії обов’язково повинні бути справні засоби проти пожежі: вогнегасник, пісок, кошма тощо;

− розчинні у воді органічні речовини (бензин, масло, фенол) заборонено гасити водою через те, що пожежа посилиться [53].

Перша допомога при шлункових отруєннях:

1. викликають блювоту, щоб вивести отруту з організму, а при отруєнні лугами чи кислотами роблять промивання шлунку;
2. знешкоджують отруту:

а) при отруєнні кислотою п’ють свіжеприготований розчин магнезії (2 столові ложки на 250 мл води), випиваючи одразу півсклянки, а потім через кожні 10 хвилин п’ють вже по одній столовій ложці;

б) при отруєнні лугом приймають 1%-й розчин оцтової кислоти;

в) застосовують адсорбуючі препарати з одночасним проносним засобом;

1. отруєння конкретними твердими або рідкими речовинами:

а) розчином амоніаку – пити слабко концентрований розчин етанової кислоти або масло, молоко, лимонний сік, яєчний білок, при цьому викликати блювоту;

б) розчином йоду – викликати блювоту та випити водний 1%-й розчин натрію гідросульфіту, молоко або крохмальний клейстер;

в) солями марганцевої кислоти – викликати блювоту, випити молоко, яєчний білок або крохмальний клейстер;

г) диетиловим ефіром, спиртом, хлороформом – випити 0,1 г коразолу або 0,03 г фенаміну, після чого випити міцну кав або чай та вийти на свіже повітря;

ґ) сполуками аргентуму – випити достатню кількість 10%-ого розчину кухонної солі;

д) фенолом – викликати блювоту, пити вапнякову воду або суспензію окису магнію (15 г магнію оксиду на 100 мл води) [50-53].

Для розрахунків та оформлення результатів багато часу було проведено за роботою за персональними комп’ютером (або ноутбуком).

Наприклад, при недотриманні правил роботи за комп’ютером можуть з’явитись такі хвороби, як остеохондроз, захворювання дрібних суглобів, короткозорість, застій крові тощо.

Правила роботи за комп’ютером:

1. правильна постава спини є обов’язковою; треба слідкувати, щоб спина була рівна та не прогиналась. Якісне робоче крісло також допоможе тримати поставу у правильній формі, бо спинка підтримує наш хребет;
2. провітрювання кімнати; оптимальна кількість провітрювань приміщення – тричі на день. Провітрювання проводять незалежно від погоди та сезону року. Якщо приміщення не провітрюється, вміст вуглекислого газу в повітрі перевищує норму в 20 разів. Надлишок вуглекислого газу викликає головний біль, тяжкість у голові, швидку стомлюваність, порушення сну, тому так важливо приділяти цьому увагу;
3. відпочинок та зміна діяльності; кожні 30-40 хв. треба робити перерву на приблизно 5 хв., наприклад, щоб випити склянку чистої води або зробити гімнастику для очей;
4. правильне положення монітору; монітор необхідно встановлювати на відстані 70-80 см від обличчя, і нижче рівня очей;
5. часте моргання; щоб зволожити рогівку та зняти напруження з очей офтальмологи рекомендують моргати кожні 5 секунд.
6. під час використання миші кисть повинна бути прямою і покладена на стіл якомога далі від краю, і повинна відпочивати 15 хв. Щогодини необхідно робити перерву на 15 хв. через кожну годину та займатися іншою справою;
7. не ремонтувати обладнання та не робити його технічних налаштувань самостійно (можуть виконувати тільки фахівці з обслуговування комп’ютерів).

Недотримання правил може призвести до аварійних ситуацій: ураження електричним струмом, горіння обладнання, пожежі тощо. Всі повинні дотримуватися правил безпеки.

Таким чином, нам вдалось уникнути нещасних випадків при роботі з реактивами, електричними приладами, персональним комп’ютером та ін. під час виконання кваліфікаційної роботи магістра [53].

ВИСНОВКИ

1. Провели хімічний аналіз стічної води Запорізької ТЕС. Отримали результати концентрацій сульфатів 40,22±4,02 мг/дм3, хлоридів 31,95±3,20 мг/дм3, Феруму 0,196±0,029 мг/дм3, Купруму < 0,01±0,00 мг/дм3.
2. Отримані результати при дослідженнях порівняли з максимальними допустими концентраціям, які прописані в документах (гранично допустимі скиди – ГДС, гранично допустимі концентрації − ГДК). ГДК для сульфатів – 93 мг/дм3, хлоридів – 135 мг/дм3, Феруму – 1,19 мг/дм3, Купруму – 0,06 мг/дм3.
3. Результати аналізів за місяць та річний звіт, який представлений хімічною лабораторією стічних вод, показують, що концентрації забруднуючих речовин у стічних водах не виходять за межі допустимих норм.
4. Методи очищення технологічної води та очисні споруди є ефективними. Запорізька ТЕС не шкодить гідросфері та дотримується усіх вимог та норм до очистки відпрацьованих вод після технологічних процесів.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Підприємствам необхідно аналізувати воду до та після технологічних процесів. Після технологічних процесів, вода може містити небезпечні для людини та екології речовини. Для запобігання перевищення норм концентрації цих речовин, потрібно використовувати якісні очисні споруди та методи очищення стічних вод.
2. Результати експериментальних досліджень кваліфікаційної роботи магістра можуть бути використані у змісті навчальних дисциплін:

− бакалаврів: «Великий практикум з аналітичної хімії»,

«Екотехнологія»;

− магістрів: «Аналіз природних і стічних вод».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гічов Ю.О. Теплові електростанції та проблеми перетворення енергії. Частина ІІ: навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2017. С. 42-50.
2. Чучуй В.П., Уминський С.М., Інютін С.В. Альтернативні джерела енергії: навч. посіб. Одеса : ТЕС, 2015. С. 250-274.
3. Айрапетян Т.С. Очистка побутових стічних вод. Споруди та обладнання водовідведення : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ, 2014. С. 5-24.
4. [Aniyikaiye](https://scholar.google.com.ua/citations?user=y4waU_kAAAAJ&hl=uk&oi=sra) T.E., [Oluseyi](https://scholar.google.com.ua/citations?user=fbVD8GEAAAAJ&hl=uk&oi=sra) T., [Odiyo](https://scholar.google.com.ua/citations?user=xWZ-020AAAAJ&hl=uk&oi=sra) J.O. Physico-Chemical Analysis of Wastewater Discharge from Selected Paint Industries in Lagos, Nigeria. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. Р. 1-10. URL: [https://www.mdpi.com/1660-](https://www.mdpi.com/1660-4601/16/7/1235) [4601/16/7/1235](https://www.mdpi.com/1660-4601/16/7/1235) (дата звернення: 11.11.2022).
5. Василенко О.А., Епоян С. М., Смірнова Г.М. та ін. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: навч. посіб. Київ, Харків: КНУБА, ХНУБА, 2012. С. 300-325.
6. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Петрук Р.В., Сакалова Г.В. та ін. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : підручник. Херсон : Олді-плюс, 2019. С. 80-92.
7. Айрапетян Т.С. Технологія очистки промислових стічних вод: конспект. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. С. 6-18.
8. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: навч. посіб. Рівне : ВАТ

«Рівненська друкарня», 2013. С. 120-134.

1. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А. та ін. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. Київ : Лібра, 2012. С. 50-67.
2. George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel, Metcalf & Eddy. Wastewater engineering : treatment and reuse. (4th ed.). Boston : McGraw- Hill. 2003. Р. 25-30.
3. Khaled Abuhasel, Mohamed Kchaou, Mohammed Alquraish, Yamuna Munusamy and Yong Tzyy Jeng. Oily Wastewater Treatment: Overview of

Conventional and Modern Methods, Challenges, and Future Opportunities. *Water.* 2021. №13. Р. 2-8. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/7/980> (дата звернення: 03.11.2022).

1. Blumer M., Sass J. Oil рollution: persistence and degradation of spilled fuel oil. *Environmental Science.* 2002. Р. 2-4. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.176.4039.1120> (дата звернення: 23.11.2022).
2. Blumer Max, Souza G., Sass J. Hydrocarbon pollution of edible shellfish by an oil spill. [*Marine Biology*](https://link.springer.com/journal/227). 2015. Р. 13-10. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00346906> (дата звернення: 01.11.2022).
3. Курта С.А. Основи нафтохімії. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2020. С. 140-156.
4. Хімічний склад нафти. Фізичні властивості нафти та нафтопродуктів. URL : [https://kc.pnu.edu.ua/wp-](https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2018/04/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F-%E2%84%962.pdf) [content/uploads/sites/11/2018/04/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%9](https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2018/04/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F-%E2%84%962.pdf) [6%D1%8F-%E2%84%962.pdf](https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2018/04/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F-%E2%84%962.pdf) (дата звернення: 21.11.2022).
5. Шапорев В.П., Пляцук Л.Д., Моісеєв В.Ф., Пітак І.В., Манойло Є.В., Васильєв М.І., Кузнєцов П.В. Спеціальне обладнання та процеси органічної хімії: підручник. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2013. С. 46-75.
6. Склабінський В.І. Технологічні основи нафто- та газопереробки: навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2017. С. 28-64.
7. Національна акціонерна компанія “Нафтогаз України”. Київ, 2019. С. 1-5. URL: <http://www.naftogaz.com/>(дата звернення: 18.11.2022).
8. Wastewater analysis and drugs – a European multi-city study. March, 2022. URL: https://[www.emcdda.europa.eu/publications/html/pods/waste-water-](http://www.emcdda.europa.eu/publications/html/pods/waste-water-) analysis\_en (дата звернення: 16.11.2022).
9. Toral Shindhal et at. A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater. *Bioengineered.* 2021 Issue 1. Vol. 12.

URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21655979.2020.1863034> (дата звернення: 04.11.2022). Р. 3-10.

1. Dutta D., Arya S., Kumar S. Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices. *Elsevier.* 2021. Vol. 2. Р. 4-7. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521017173> (дата звернення: 02.11.2022).
2. Saravanan A., Kumar P.S., Jeevanantham S., Karishma S. Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. Chemosphere. 2021. Vol. 3. Р. 5-12.

URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521010663> (дата звернення: 28.11.2022).

1. Гомель М.Д., Шаблій Т.О., Радовенчик Я.В. Фізико-хімічні основи процесів очищення води: підручник. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2019. С. 25-47.
2. Василенко О.А. Водовідвідні мережі : навч. посіб. Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ : КНУБА, 2016. С. 33-36.
3. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2016. С. 450-480.
4. Хімко Р.В. та ін. Дослідження та моніторинг малих річок: практ. посіб. Недерж. наук. установа Ін-т екології (ІНЕКО). Київ: Тріада-М, 2015. С. 98-105.
5. Мальований [М.С.](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%9C%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B0%D0%B2_%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87), Петрушка І.М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами: [монографія]. М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. С. 160-174.
6. Нестер А.А., Корчик Н.М., Баран Б.А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія. Хмельницький, 2018. С. 150-165.
7. Водні ресурси України. С. 1-4. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/node/3972>(дата звернення: 16.11.2022).
8. Nomthandazo Precious Sibiya, Sudesh Rathilal, Emmanuel Kweinor Tetteh. Coagulation treatment of wastewater: kinetics and natural coagulant evaluation. *Molecules.* 2021. Vol. 26. Р. 2-5. URL: [https://www.mdpi.com/1420-](https://www.mdpi.com/1420-3049/26/3/698) [3049/26/3/698](https://www.mdpi.com/1420-3049/26/3/698) (дата звернення: 30.11.2022).
9. Aicha Gasmi, Soumaya Ibrahimi, Noureddine Elboughdiri, Mohamed Aymen Tekaya, Djamel Ghernaout, Ahmed Hannachi, Abdelhakim Mesloub, Badreddine Ayadi, Lioua Kolsi. Comparative study of chemical coagulation and electrocoagulation for the treatment of real textile wastewater: optimization and operating cost estimation. *ACS Omega* 2022. Vol. 7. P. 22456-22476. URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.2c01652> (дата звернення: 21.11.2022).
10. Зінчук В.К., Левицька Г.Д., Дубенська Л.О. Фізико-хімічні методи аналізу: навч. посіб. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018. С. 150-170.
11. Масленко С.Н., ВеличкоВ.В., Великонська Н.М., Перескока В.В. Аналітична хімія і методи аналізу : навч. посіб. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2017. С. 130-140.
12. Тулюпа Ф.М., Панченко І.С. Аналітична хімія: навч. посіб. Дніпропетровськ: УДХТУ, 2020. С. 462-476.
13. Чміленко А.Ф., Коробова І.В., Сидорова Л.П. Сучасна аналітична хімія. Дніпропетровськ : ДНУ, 2014. С. 282-295.
14. Gary D. Christian, Purnendu K. Dasgupta, Kevin A. Schug. Analytical chemistry. 1. Chemistry. Analytic Quantitative : Textbooks. University of Washington, University of Texas at Arlington, University of Texas at Arlington. Seventh edition. 2014. 850 p.
15. Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch fundamentals of analytical chemistry. 2013. Р. 14-16. URL: [https://books.google.pl/books?hl=ru&lr=&id=8bIWAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP](https://books.google.pl/books?hl=ru&lr&id=8bIWAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=analytical%2Bchemistry%2Bfundamentals&ots=v3x9sZOIVv&sig=2f8mOwlzKF-X36NcYRICePuNmhM&redir_esc=y%23v%3Donepage&q=analytical%20chemistry%20fundamentals&f=false) [1&dq=analytical+chemistry+fundamentals&ots=v3x9sZOIVv&sig=2f8mOwlzKF-](https://books.google.pl/books?hl=ru&lr&id=8bIWAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=analytical%2Bchemistry%2Bfundamentals&ots=v3x9sZOIVv&sig=2f8mOwlzKF-X36NcYRICePuNmhM&redir_esc=y%23v%3Donepage&q=analytical%20chemistry%20fundamentals&f=false) [X36NcYRICePuNmhM&redir\_esc=y#v=onepage&q=analytical%20chemistry%20](https://books.google.pl/books?hl=ru&lr&id=8bIWAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=analytical%2Bchemistry%2Bfundamentals&ots=v3x9sZOIVv&sig=2f8mOwlzKF-X36NcYRICePuNmhM&redir_esc=y%23v%3Donepage&q=analytical%20chemistry%20fundamentals&f=false) [fundamentals&f=false](https://books.google.pl/books?hl=ru&lr&id=8bIWAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=analytical%2Bchemistry%2Bfundamentals&ots=v3x9sZOIVv&sig=2f8mOwlzKF-X36NcYRICePuNmhM&redir_esc=y%23v%3Donepage&q=analytical%20chemistry%20fundamentals&f=false) (дата звернення: 08.11.2022).
16. Тулюпа Ф.М., Панченко І.С. Аналітична хімія. Дніпропетровськ : УДХТУ, 2012. С. 235-260.
17. Супрунович В.І., Плаксієнко І.Л., Федорова Н.Г., Шевченко Ю.Г. Аналітична хімія в аналізі технологічних та природних об’єктів : навч. посіб. Дніпропетровськ : УДХТУ, 2013. С. 98-115.
18. Базель Я.Р., Шкумбатюк Р.С., Воронич О.Г., Сухарева О.Ю., Мага І.М.. Навчальний посібник з курсу «Аналітична хімія». Частина 2. Кількісний хімічний аналіз. Ужгород : ПП «Штеф», 2012. С. 63-69.
19. Титриметричні методи аналізу. С. 1-10. URL: [https://udhtu.edu.ua/wp-](https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/Titrimetrichni_metodi_himichnogo_analizu.pdf) [content/uploads/2018/03/Titrimetrichni\_metodi\_himichnogo\_analizu.pdf](https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/Titrimetrichni_metodi_himichnogo_analizu.pdf) (дата звернення: 29.11.2022).
20. Петренко В.В., Стрілець Л.М., Васюк С.О. та ін. Кількісний аналіз. Титриметричні методи аналізу. Запоріжжя, 2016. С. 115-124.
21. Донченко В.С., Сидоров В.С. Теорія ймовірностей та математична статистика для соціальних наук: навч. посіб. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2015. С. 220-254.
22. Борисовська Ю.О., Козлова О.С., Лисенко О.А. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗНУ, 2013. С. 53-60.
23. Барковський В.В., Барковська Н.В., Лопатін O.K. Теорія ймовірностей та математична статистика. 5-те видання. Київ : Центр учбової літератури, 2018. С. 315-336.
24. Вахонева Г.М. Основи охорони праці в Україні. Харків: Ранок. 2019. С. 342-358.
25. Інструкція №69 з охорони праці. С. 1-7.

URL: <https://vspu.edu.ua/content/instruct/in3/e6.pdf>(дата звернення: 16.11.2022).

1. НПАОП 73.1-1.11-12. Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях. URL: <https://dnaop.com/html/32348_2.html>. С. 1-4. (дата звернення: 08.11.2022).
2. Інструкція з охорони праці для працівників випробувальних лабораторій. URL: [https://instruktor.ucoz.net/publ/instrukcija\_z\_okhoroni\_praci\_](https://instruktor.ucoz.net/publ/instrukcija_z_okhoroni_praci_dlja_pracivnikiv_viprobuvalnikh_laboratorij/1-1-0-1029) [dlja\_pracivnikiv\_viprobuvalnikh\_laboratorij/1-1-0-1029](https://instruktor.ucoz.net/publ/instrukcija_z_okhoroni_praci_dlja_pracivnikiv_viprobuvalnikh_laboratorij/1-1-0-1029) С. 2-3. (дата звернення: 29.11.2022).
3. Вимоги безпеки при виконанні навчальних та науково-дослідних робіт. СТВНЗ 20.5-0:2013. С. 19-27.

URL: [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\_Tender/Admin\_diyalnist/stvnz\_2](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Tender/Admin_diyalnist/stvnz_20_5-0.pdf) [0\_5-0.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Tender/Admin_diyalnist/stvnz_20_5-0.pdf) (дата звернення: 15.11.2022).

1. Інструкція з охорони праці №5. С. 2-4.

URL: [https://old.suitt.edu.ua/wp-](https://old.suitt.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D0%9E%D0%9F-5-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf) [content/uploads/2019/10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0](https://old.suitt.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D0%9E%D0%9F-5-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf)

[%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D0%9E%D0%9F-5-](https://old.suitt.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D0%9E%D0%9F-5-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf)

[%D0%B4%D0%BB%D1%8F-](https://old.suitt.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D0%9E%D0%9F-5-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf)

[%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D](https://old.suitt.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D0%9E%D0%9F-5-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf)

[0%B2.pdf](https://old.suitt.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D0%9E%D0%9F-5-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.pdf) (дата звернення: 18.11.2022).

1. Крюковська О.А., Левчук К.О. Охорона праці в галузі (для хімічних спеціальностей) : навч. посібник. Кам’янське, 2011. С. 132-150.
2. Вахонева Г.М. Основи охорони праці в Україні. Харків : Ранок. 2019. C. 230-245.