Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти *перший бакалаврський рівень*
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему: *Дослідження методів зниження антропогенного навантаження від викидів газоподібних речовин при виробництві коксу*

Виконав: студент *4* курсу, групи *6.1831*

Козир М.С.
(ПІБ) *(підпис)*

спеціальності
183 Технології захисту навколишнього середовища
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Технології захисту навколишнього середовища
(шифр і назва)

Керівник Вагін А.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Грідяєв В.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *бакалавр*

Спеціальність *183 Технології захисту навколишнього середовища*

Освітньо-професійна програма *Технології захисту навколишнього середовища*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ***МТЕТБ***
Ю.О. Бєлоконь
"28" 12 202 4 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Козирю Микиті Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проєкту (роботи) *Дослідження методів зниження антропогенного навантаження від викидів газоподібних речовин при виробництві коксу*

1. керівник роботи (проєкту) Вагін Андрій Вікторович, к. фіз-мат. н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *27.12.2024р. № 2031-с*
2. Строк подання студентом роботи (проєкта) *15.06. 2025 р.*
3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *технологічний процес отримання коксу, кількість відхідних газів – 4,79м^3/с, температура газів - 70^{0}С, запиленість – 0,612г/м^3 концентрація фенолу- 0,865мг/м^3.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). *аналіз технології виробництва коксу з точки зору забруднення атмосфери, обґрунтування необхідності очищення газоподібних токсичних речовин, що містяться ву відхідних газах виробництва коксу, доцільність використання полів високої напруженості для нейтралізації кисневмісних вуглеводнів, охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Перелік джерел посилань.*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *технологічна схема виробництва коксу, кількісний та якісний склад викидів в*

атмосферу токсичних газоподібних речовин, порівняльна характеристика газових електричних розрядів, схема стримерної камери, схема лабораторної установки, результати досліджень

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1 Огляд виробництва коксу як джерела антропогенного навантаження на довкілля	*Вагін А.В., доцент*	
2. Дослідження розкладання токсичних компонентів газових викидів електрофізичним способом	*Вагін А.В., доцент*	
3. Експериментальне дослідження розкладання кисневмісних вуглеводнів у газових розрядах	*Вагін А.В., доцент*	
4. Охорона праці та техногенна безпека	*Вагін А.В., доцент*	
Нормоконтроль	*Кожемякін Г.Б., доцент*	

7. Дата видачі завдання *31.01.2025*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Вступ*	*14-17.04.2025*	
2	*Реферат*	*18-19.04.2025*	
3	*Огляд виробництва коксу як джерела антропогенного навантаження на довкілля*	*20.04-04.05.2025*	
4	*Дослідження розкладання токсичних компонентів газових викидів електрофізичним способом*	*05-16.05.2025*	
5	*Експериментальне дослідження розкладання кисневмісних вуглеводнів у газових розрядах*	*17-31.05.2025*	
6	*Охорона праці та техногенна безпека*	*01-09.06.2025*	
7	*Висновки*	*10.06.2025*	

Студент _____ *Козир М.С..*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ *Вагін А.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 60 с., 10 рис., 6 табл., 32 джерела посилання.

КОКСОХІМІЯ, ГАЗООЧИЩЕННЯ, ЕЛЕКТРИЧНІ ГАЗОВІ РОЗРЯДИ, КИСНЕВМІСНІ ВУГЛЕВОДНІ, ШКІДЛИВІ ВИКИДИ, РЕКОНСТРУКЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВУГІЛЬНА СУМІШ

Об`єкт розробки – процес очищення аспіраційних газів від кисневмісних вуглеводнів при виробництві коксу.

Мета роботи – обґрунтування доцільності використання полів високої напруженості для очищення аспіраційних газів коксохімічного виробництва.

Здійснено огляд технологічного процесу виробництва коксу, виявлені джерела газових викидів під час спікання вугільної суміші. Наведений перелік токсичних речовин, що утворюються на етапах технологічного ланцюга переробки. Вказані основні методи боротьби зі шкідливими викидами технологічного процесу отримання коксу. Виявлено необхідність реконструкції системи очищення відхідних газів від токсичних кисневмісних вуглеводнів при виробництві коксу. Запропоновано технологію їх знешкодження з використанням електричних полів високої напруженості. Економічно обґрунтовано доцільність використання стримерного газового розряду. Встановлені шкідливі та небезпечні чинники коксохімічного виробництва.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 60 pages, 10 figures, 6 tables, 32 literary sources.

COKE CHEMISTRY, GAS TREATMENT, ELECTRIC GAS DISCHARGES, OXYGEN CONTAINING HYDROCARBONS, HAZARDOUS EMISSIONS, RECONSTRUCTION, TECHNOLOGICAL PROCESS, COAL MIXTURE

The object of development is the process of cleaning aspiration gases from oxygen-containing hydrocarbons during the production of coke.

The purpose of the work is to substantiate the expediency of using high voltage fields for the purification of aspiration gases of coke chemical production.

The technological process of coke production was reviewed, the sources of gas emissions during the sintering of the coal mixture were identified. The list of toxic substances formed at the stages of the technological chain of processing is given. The main methods of combating harmful emissions of the technological process of coke production are indicated. The necessity of reconstruction of the waste gas purification system from toxic oxygen-containing hydrocarbons during coke production was revealed. The technology of their neutralization using high voltage electric fields is proposed. The expediency of using streamer gas discharge is economically justified. Harmful and dangerous factors of coke production are established.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..8
1. ОГЛЯД ВИРОБНИЦТВА КОКСУ ЯК ДЖЕРЕЛА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ……...10
1.1 Наявні способи очищення газів, що відходять які застосовуються для знешкодження кисневмісних вуглеводнів…….10
1.2 Характеристика основних видів електричних розрядів у газі……13
1.3 Висновки по розділу 1……18
2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗКЛАДАННЯ ТОКСИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИМ СПОСОБОМ……19
2.1 Енергетичне обґрунтування вибору способу знешкодження викидів фенолу в атмосферу……19
2.2 Оцінка ефективності різного виду газових розрядів для знешкодження шкідливих газоподібних компонентів викидів в атмосферу…23
2.2.1 Оцінка ефективності коронного розряду для розкладаннят токсичних речовин……..29
2.2.2 Розкладання токсичних компонентів в однофазному електричному полі……..32
2.2.3 Аналіз знешкодження шкідливих газоподібних компонентів електрохімічним способом……33
2.2.4 Розкладання токсичних компонентів у стримерному газовому розряді……35
2.3 Експериментальне дослідження розкладання кисневмісних вуглеводнів у газових розрядах……39
2.3.1 Знешкодження у стримерному розряді відхідних газів, що містять фенол……...39
2.4 Висновки по розділу 2……....43

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА……44
3.1 Основні шкідливості та небезпеки виробничого середовища……44
3.1.1. Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек……...47
3.2 Електробезпека……48
3.2.1 Розрахунок захисного заземлення дільниці коксосортування…..…52
3.3 Пожежна безпека……54
3.4 Висновки по розділу 3……56
ВИСНОВКИ……57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ……...58

ВСТУП

Актуальність теми. В теперішній час неможливо уявити таку системо утворюючу галузь промисловості як чорна металургія без коксохімічного виробництва.

При виробництві коксу, на жаль, утворюється велика кількість забруднювачів атмосфери. Особливістю цих викидів є відносно невелика концентрація речовин, невеликий обсяг викидів, багатий спектр забруднювачів при великій їх агресивності.

Все вище перераховане робить достатньо проблематичним очищення відхідних газів від технологічних агрегатів коксохімічного виробництва і , в той же час, актуальним розробку високоефективного, низько енергоємного методу нейтралізації токсичних газоподібних речовин.

Об'єкт дослідження – процес очищення аспіраційних газів від кисневмісних вуглеводнів при виробництві коксу.

Предмет дослідження:

- Коксохімічне виробництво;
- Методи знешкодження аспіраційних викидів від кисневмісних вуглеводнів;

Мета роботи – обґрунтування доцільності використання полів високої напруженості для очищення аспіраційних газів коксохімічного виробництва.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі визначено перелік задач:

- Проаналізувати джерела утворення викидів газоподібних токсичних речовин при виробництві коксу;
- Обґрунтувати доцільність використання електрофізичного знешкодження токсичних газоподібних речовин які містяться у відхідних газах процесу отримання коксу;

Методи та засоби дослідження. Задачі дослідження виконувались з використанням спеціалізованої літератури та технічної документації устаткування. Був здійснений аналіз перелічених джерел з викладенням ключових складових процесу очищення газів і основ функціонування газоочисного обладнання.

Наукова новизна:

- Доведена доцільність використання полів високої напруженості для нейтралізації газоподібних кисневмісних вуглеводнів.

- Запропоноване оптимальне газоочисне устаткування для зменшення техногенного навантаження від забруднення атмосфери газоподібними речовинами при виробництві коксу.

Практична цінність:

- Кінцеві положення дослідження можуть бути використані з метою подальшого налаштування відповідних систем очищення аспіраційних газів.

Структура та обсяг роботи. Бакалаврська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань.

1. ОГЛЯД ВИРОБНИЦТВА КОКСУ ЯК ДЖЕРЕЛА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ

1.1 Наявні способи очищення газів, що відходять які застосовуються для знешкодження кисневмісних вуглеводнів

Розглянувши технологічний процес виробництва коксу в умовах ПрАТ «Запоріжкокс» встановлено якісний та кількісний склад викидів в атмосферу від застосованих технологічних процесів . Результати представлені у таблиці 1.1 [1]

Враховуючі обсяг забруднення та токсичність речовин на підприємстві особливу увагу приділяють природоохоронним заходам. Особливу увагу приділено нейтралізації газоподібних викидів фенолу та формальдегіду [2].

Фенол і формальдегід широко застосовуються у виробництві синтетичних смол і пластмас, хімічному синтезі, у металургійній, паперовій, текстильній, шкіряній, хутряній, деревообробній, лакофарбовій та інших галузях промисловості. У низці виробництв частина цих небезпечних речовин (с. с. ГДК фенолу 0,003 мг/м^3, ГДК формальдегіду 0,001 мг/м^3), що не увійшла до складу продукції, або видаляється у вигляді відходів зі стічними водами, або з вентиляційним повітрям викидається в атмосферу. Крім загальнотоксичної та сильної подразнювальної дії вони чинять канцерогенний, а формальдегід ще й мутагенний вплив на людину. Висока небезпека зазначених речовин вимагає ретельної локалізації забруднених газів, що відходять від технологічного обладнання, з подальшим їхнім очищенням перед викидом в атмосферу [4].

Відомі різні способи уловлювання та знешкодження фенолу і формальдегіду: водний, аміачний, термічний, каталітичний, озонний, адсорбція на твердому сорбенті, використання різних окиснювачів та інші. Деякі з них (термічний, каталітичний), за певних умов, можуть бути використані в

електродній промисловості, де гази, що очищуються, як правило, мають температуру 333-375К і містять до 5 г/м^3 пилу [4].

Таблиця 1.1 - Якісний та кількісний склад викидів у атмосферу коксового цеху ПрАТ «Запоріжкокс»

Найменування виробництва	Продукція, що випускається			Забруднююча речовина			
	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Код	Найменування	Одиниця виміру	Фактичний викид
Виробництво коксу	Кокс 6% вологості	тис. т	2400,0	123	Заліза оксид (в перерах. на залізо)	т/рік	0,0717
				143	Марганець та його сполуки	т/рік	0,0093
				203	Хрому оксид	т/рік	0,0002
				301	Азоту діоксид	т/рік	1505,2433
				303	Аміак	т/рік	115,0590
				317	Водень ціаністий	т/рік	9,7970
				323	Кремнію діоксид	т/рік	0,0028
				330	Сірки діоксид	т/рік	755,9480
				333	Сірководень	т/рік	18,8050
				337	Вуглецю оксид	т/рік	1994,1081
				342	Водень фтористий	т/рік	0,0031
				343	Фториди добре розчинні	т/рік	0,0058
				344	Фториди погано розчинні	т/рік	0,0033
				602	Бензол	т/рік	15,9800
				703	Бенз/а/перен	т/рік	0,0055
				708	Нафталін	т/рік	0,4992
				1071	Фенол	т/рік	4,7852
				2902	Речовини у вигляді твердої суспензії часток	т/рік	467,5930
Всього по цеху						т/рік	4887,9194

У роботах [4-7] досліджено адсорбційний метод очищення викидів від фенолу і формальдегіду. Як адсорбенти запропоновано використовувати активоване вугілля [4,5], мінеральні та органічні сорбенти [6] з подальшим

каталітичним окисленням газового потоку після регенерації адсорбенту. Авторами [7] як сорбент запропоновано пористий носій, туф або шамотну цеглу, просочену розчином лугу, що містить 1,5-2,0 % сульфату тетрааміну міді.

Недоліками описаного методу є значний гідравлічний опір адсорбційних газоочисних апаратів, складність процесу очищення. Адсорбційним способом неможливо очищати запилені гази.

Широкого застосування набули абсорбційний та абсорбційно-окислювальний методи очищення газів від фенолу та формальдегіду. Абсорбентом може бути вода, розчин лугу, розчин сульфіту натрію, 10% розчин сечовини [8-10]. У роботі [9] запропоновано багатокомпонентний абсорбент - водний розчин, що містить сірчану кислоту, перекис водню, пероксомоносірчану або пероксодисірчану кислоту.

Як контактні апарати запропоновано пінний абсорбер [4], ударно-пінний апарат з теплообмінником [10], абсорбційні колони з рухомою кульовою насадкою [9]. В [11] авторами запропоновано електрохімічну регенерацію гіпохлориду натрію в абсорбційно-окислювальному методі очищення газоповітряних сумішей від фенолу та формальдегіду.

Авторами [12] розроблено спосіб очищення за замкнутим циклом, згідно з яким робоча рідина з абсорбованими в ній шкідливими речовинами надходить до електролізера для одержання окиснювача і регенерується в ньому.

Абсорбційний метод дає змогу очищати гази з високою ефективністю, приблизно 96-99%, проте його застосування пов'язане з великою витратою води та хімреактивів, необхідністю очищення води перед скиданням, наприклад, методом термічного окиснення забрудненої води в шахтних печах [9]. Це різко підвищує вартість очищення, потребує додаткових виробничих площ для розміщення обладнання. Усе це робить неприйнятним використання цього методу у вищеназваних умовах.

Вивченню процесів каталітичного окиснення фенолу та формальдегіду

присвячені роботи [13,15]. Було випробувано низку стандартних каталізаторів, як на основі благородних, так і на основі лужноземельних металів та їхніх сполук, а також дослідні зразки каталізаторів, які можуть бути виготовлені самим споживачем [14]. За даними роботи [13] для каталітичного очищення викидів хімічних цехів коксохімічного виробництва, що містять NH_3, H_2S, феноли, застосовні металургійні шлаки - ванадієвий, ферохромовий тощо. В [16] пропонується сорбційно-каталітичне очищення газів. Наприклад, сорбція на гранулах каталізатора-сорбенту, що складаються з хроміту міді на носії з триоксиду алюмінію в рухомому шарі, та подальше окислення адсорбованих гранулами домішок за локального нагрівання шару гранул до температури ініціювання реакції окиснення в режимі завислого шару в окремій камері.

Недоліками методів каталітичного окислення є необхідність попереднього кондиціонування газів, що очищуються, їх знепилювання. Як каталізатори, як правило, використовують дорогі, дефіцитні матеріали, що ускладнює їх широке застосування. Відомі також такі методи очищення від фенолу і формальдегіду газів, що відходять, як озонне окислення [14], мікробіологічне знешкодження [14-16]. Однак вони або вимагають великих енергетичних витрат [14], або пов'язані зі складнощами в експлуатації.

Таким чином, не розроблено низькоенергоємний, практично не залежний від запиленості газу, що очищується, надійний в експлуатації спосіб знешкодження викидів в атмосферу від фенолу і формальдегіду. Невідомі малогабаритні, з низьким гідравлічним опором, прості за конструкцією газоочисні апарати, що дають змогу ефективно очищати гази, що відходять, від фенолу і формальдегіду.

1.2 Характеристика основних видів електричних розрядів у газі

Як було вище зазначено, і під час електрофізичного знешкодження токсичних компонентів змінюється електронна будова вихідних речовин, що

прискорює перебіг хімічних реакцій. Відомо кілька методів, що дають змогу отримати хімічно активні частинки. Їх можна розділити на дві групи:

- методи, засновані на застосуванні іонізуючої радіації;
- прийоми, що базуються на використанні електричних розрядів.

Методи іонізуючої радіації включають використання α-променів, β-променів, ультрафіолетових променів високої енергії тощо. Їх застосування обмежується складністю необхідного обладнання, необхідністю попередньої підготовки газів, що очищуються. Енергетичні розряди можна розділити на дві групи: електророзряди у вакуумі та розряди в газі за атмосферного тиску. До першої групи розрядів можна віднести люмінесценцію, розряди, що генеруються лазерним випромінюванням. Однак для очищення газів їх застосування практично виключається - у газовідвідних трактах немає вакууму.

Найбільший інтерес для електрофізичного знешкодження токсичних компонентів становлять електророзряди за атмосферного тиску, наприклад, такі як коронний розряд, дуговий розряд, бар'єрний розряд і стримерний розряд.

Електричний газовий розряд, утворюється при проходженні газу через поле високої напруженості. При цьому електричне поле надає вільним електронам, генерованим в газі, що очищується завдяки електророзрядам, енергію, що дорівнює роботі поля, що витрачається на їхнє прискорення, та орієнтує їхній рух за вектором напруженості цього поля [17]. Під час руху електрони піддаються пружним зіткненням з молекулами газу, якщо їхня енергія не перевищує в момент зіткнення порогу збудження цього газу. Електрони, що володіють достатньою енергією, можуть піддаватися непружним зіткненням, під час яких вони передають частину своєї енергії молекулам газу, іонізуючи їх, переводячи ці молекули в збуджений і надзбуджений стан.

Нині широко застосовується коронний розряд. Саме за допомогою коронного розряду відбувається пиловиділення в промислових електрофільтрах. Розглянемо процеси, що відбуваються з молекулами газу в розряді.

Нормальний коронний розряд формується коли висока напруга постійного або змінного струму подається на асиметричні електроди. Висока напруга утворює неоднорідне електричне поле між електродами, що призводить до іонізації газу в районі електрода з підвищеною напруженістю поля і виникнення світіння корони. Іонізовані, збуджені молекули вступають у хімічні реакції або дисоціюють, утворюючи хімічно активні вільні радикали. Якщо енергія електрона перевищує потенціал іонізації молекули, то відбувається її іонізація з утворенням вільних електронів. Ці електрони, отримуючи енергію від поля, можуть іонізувати інші молекули, утворюючи лавину Таунсенда. Віддаляючись від коронуючого електрода, електрони вступають у зону слабкого поля, де вони не отримують від поля багато енергії. Іони, що прискорюються електричним полем, на відміну від електронів, втрачають свою енергію під час пружних зіткненні з молекулами газу. Це відбувається через приблизну рівність мас іонів і молекул і призводить до підвищення температури газу. Таким чином, потік іонів не сприяє прискоренню хімічних реакції, кінетична енергія іонів витрачається на нагрівання газу.

Електричний струм, що проходить між електродами під час коронного розряду, містить електрони, що володіють високою енергією, тільки поблизу електрода, що коронує, створення збуджених молекул і вільних радикалів обмежене цією областю. Більша частина потоку заряджених частинок між електродами - це потік іонів. Цією обставиною визначається невисока швидкість утворення хімічно активних частинок і, отже, низька просторова ефективність процесів, що розглядаються, в усьому міжелектродному проміжку при коронному розряді.

Є дані [17] щодо використання дугового розряду для прискорення хімічних реакцій у газах. Дуговий розряд утворюється під час подавання високої напруги (що перевищує пробійну) на електроди або під час зіткнення електродів із подальшим їхнім розведенням. Дуга являє собою вузький канал, що світиться,

який з'єднує два електроди. При цьому щільність струму на катоді зростає настільки, що катод сильно розігрівається, ініціюючи термоелектронну емісію. Термоелектронна емісія утворює сильний струм, що призводить до розігріву газу, його іонізації. Для підтримання такого розряду достатньо невеликого електричного поля. Це призводить до падіння напруги на електродах [17].

Таким чином, для дугового розряду характерні, на відміну від коронного, сильний струм за невисокої напруги на електродах. Хімія дугового розряду дуже неефективна енергетично через сильний іонний струм і витрати енергії на нагрівання газу. Просторова ефективність розряду теж невелика через обмежений обсяг єдиної дугової нитки.

Бар'єрний розряд утворюється при застосуванні передпробійної напруги до електродів, розділених шаром діелектрика і невеликим повітряним проміжком. Шар діелектрика запобігає іскрінню, що дає змогу стійко працювати за більш високої напруги на електродах. Такий вид розряду широко застосовується при виробництві озону. Це підтверджує можливість використання бар'єрного розряду для прискорення хімічних реакцій. Однак процеси, що протікають при цьому, неефективні енергетично, оскільки основну частину потоку частинок між електродами складають іони, що призводить до нагрівання газу. Надлишкове тепло, як правило, видаляється рідинним охолодженням діелектрика.

При застосуванні до електродів високої напруги між ними виникає електричний струм. Зі збільшенням напруги струм зростає, між електродами виникає іскра, що свідчить про пробій міжелектродного простору. Швидкісна фотозйомка визначила, що відразу після пробою між електродами виникає стример. Стример дуже недовговічний, він передує виникненню дуги між електродами, тобто дуговому розряду. Постійний стримерний розряд можна створити подачею дуже коротких, тривалістю приблизно 200 нс, імпульсів напруги, яка в кілька разів перевищує пробійну. Під час короткочасних імпульсів

між електродами виникають стримери. У період часу між імпульсами відбувається стабілізація газового проміжку між електродами, що не дає змоги розвинутися пробою [17]..

Більша частина потоку під час стримерного розряду, зважаючи на короткочасність імпульсу напруги, являє собою потік електронів, тому що іони майже в 500 разів менш мобільні порівняно з електронами. Це дає змогу говорити про велику енергетичну ефективність стримерного розряду Як було згадано вище, потік електронів може прискорювати перебіг хімічних реакцій. Стримери йдуть через весь простір між електродами, що призводить до утворення більшої кількості хімічно активних частинок [17].

Оцінюючи вищевикладене, можна виділити основні риси стримерного розряду:

1. Стримери, що сприяють утворенню нестабільних частинок, займають увесь міжелектродний простір, на відміну від невеликої зони світіння в районі електрода, що коронує, та однорідного світіння на поверхні діелектрика під час коронного та бар'єрних розрядів. Отже, іонізація і збудження молекул проходить у всьому міжелектродному проміжку.

2. Струм, що протікає під час стримерного розряду, визначається потоком електронів, на відміну від переважаючих іонних струмів під час коронного і бар'єрного розрядів.

3. Стримерний розряд формується за допомогою дуже короткої пульсації, тривалістю, що приблизно дорівнює 200 нс, струму високої, що в кілька разів перевищує пробійну, напруги. Коронний і бар'єрний розряд стабільно існують лише в передпробійному режимі.

Таким чином, для знешкодження токсичних газоподібних викидів в атмосферу доцільним є застосування адаптованого стримерного розряду [17].

1.3 Висновки по розділу 1

1. Проаналізовано технологічний процес отримання коксу у ПАТ «Запоріжкокс» з точку зору утворення вик идів в атмосферу

2. Застосування розроблених до теперішнього часу способів знешкодження токсичних газоподібних компонентів, наприклад, фенолу, стикається з різними труднощами: високими (до 3 ГДж/кг) енерговитратами на очищення, дорожнечею (більше 2000 грн/кг) застосовуваних каталізаторів, низькою ефективністю (до 30%) обробки газів, які містять невисокі концентрації токсичних речовин.

3. Видається перспективним використання для знешкодження токсичних газоподібних компонентів електрофізичного методу, заснованого на застосуванні газового розряду. Це призведе до зниження енерговитрат на очищення.

4. Стосовно завдань очищення від токсичних газоподібних сполук аспекти, які стосуються вибору газового розряду, що ефективно працює для вирішення вищеназваних завдань, недостатньо вивчені та висвітлені.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗКЛАДАННЯ ТОКСИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИМ СПОСОБОМ

2.1 Енергетичне обґрунтування вибору способу знешкодження викидів фенолу в атмосферу

Як згадувалося вище, відомі різні способи уловлювання та знешкодження фенолу. Їх можна розділити на дві групи: способи, що ґрунтуються на хімічному перетворенні фенолу на інші менш токсичні речовини (термічний, каталітичний, озонний), і способи, що дають змогу вивести фенол зі складу викидів в атмосферу з його подальшою утилізацією (адсорбційний, абсорбційний). Найбільшого поширення набули термічний і каталітичний способи. Видається перспективним використання електрофізичного знешкодження фенолу: у цьому варіанті, як показано нижче, вдається реалізувати процеси за менших енерговитрат (до 0,3 МДж/кг) на очищення порівняно з іншими способами.

Нині, через гостру нестачу енергоресурсів, під час вибору способу знешкодження газових викидів гостро стоїть питання енергоємності газоочисних процесів. Для більш глибокого, детального опрацювання проблеми вибору способу очищення газів від фенолу, розглянемо закономірності хімічної взаємодії, характерні для термічного, каталітичного та електрофізичного способів знешкодження зазначеної речовини.

Усі ці способи ґрунтуються на хімічній взаємодії фенолу з різними окислювачами, що містяться у газах, що відходять. Відомо, що умовою хімічної взаємодії між двома молекулами є їхнє зіткнення. Однак не всі зіткнення молекул ефективні. Частка ефективних зіткнень від їх загальної кількості, як правило, незначна. Це зумовлено тим, що хімічна взаємодія здійснюється тільки між тими молекулами, що зіштовхуються, які досягли певного енергетичного рівня [18], характерного для даної реакції, її енергетичного бар'єра.

Знешкодження фенолу пов'язане з його окисленням киснем повітря та його похідними. У результаті такої хімічної реакції, за певних умов фенол перетворюється на вуглекислий газ і водяну пару. Однак у звичайних умовах швидкість цієї реакції незначна, оскільки молекули не мають достатньої енергії для подолання енергетичного бар'єру.

Під час термічного окиснення фенолу необхідна для помітного протікання реакції енергія передається системі за рахунок нагрівання реакційної суміші. Таким чином, кількість молекул реагуючих речовин, енергія яких перевищує енергетичний бар'єр даної реакції, різко збільшується. Це призводить до збільшення швидкості хімічної реакції. Схематично вищеописаний процес представлений на рисунку 2.1.

Середній рівень енергії молекул вихідних речовин А і В у системі - W_1 у разі підвищення температури досягає значення W_1 для більшості молекул вихідних речовин, що уможливлює утворення нестабільного комплексу А...В за енергії активації реакції $W_a = W_1 – W_2$. Комплекс А...В розпадається на продукти реакції С і Д, що володіють рівнем енергії $W_2 < W_1$.

Під час знешкодження фенолу термічним способом необхідний підігрів газоповітряної суміші до температури щонайменше 800°С, що пов'язано зі значними енергетичними витратами [18].

Найпоширенішим методом знешкодження фенолу є його термокаталітичне окислення. На рисунку 2.2 представлено схему цього процесу.

У присутності каталізатора утворюється проміжна сполука А...К...В за енергії активації цієї реакції $W_{a1} < W_a$. Це дає змогу протікати реакції з помітною швидкістю за температури газоповітряної суміші близько 400 °С. Отже, підбір каталізаторів визначається їхньою здатністю утворювати з вихідними речовинами проміжну сполуку., При цьому енергія активації реакції утворення А...К...В має бути меншою за W_1.

Використання термокаталітичного способу знешкодження викидів фенолу наразі обмежене дорожнечею каталізаторів, необхідністю попередньої підготовки газів, що очищаються, наприклад, обов'язковістю їх знепилювання.

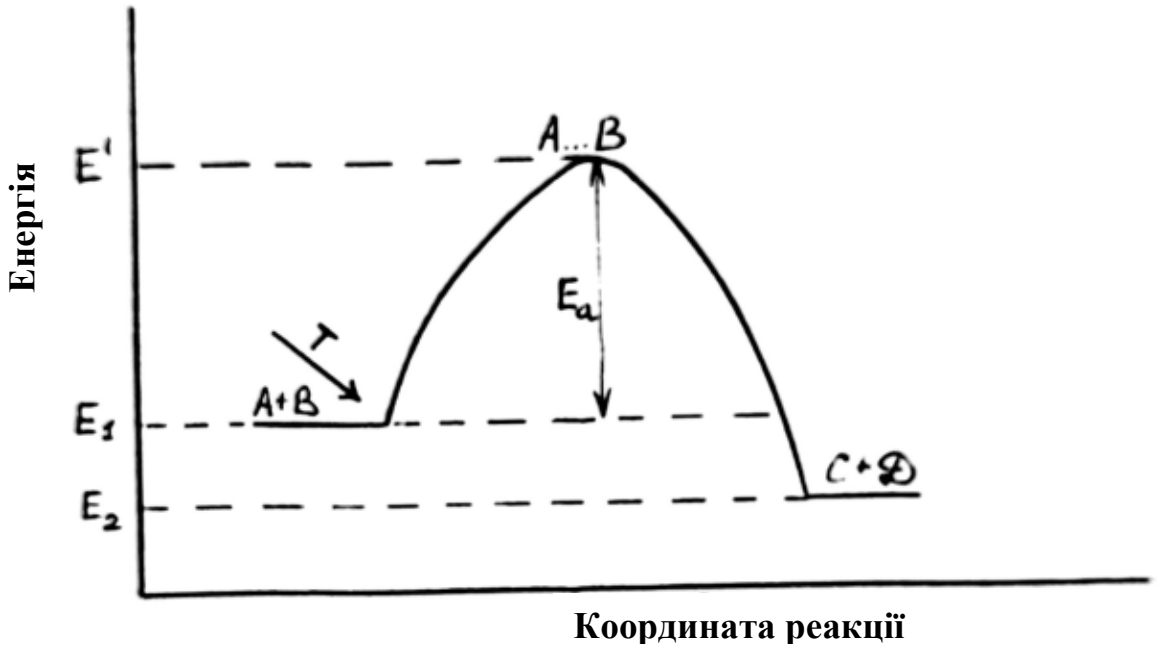


Рисунок 2.1 - Енергетична діаграма екзотермічної реакції під час впливу температури

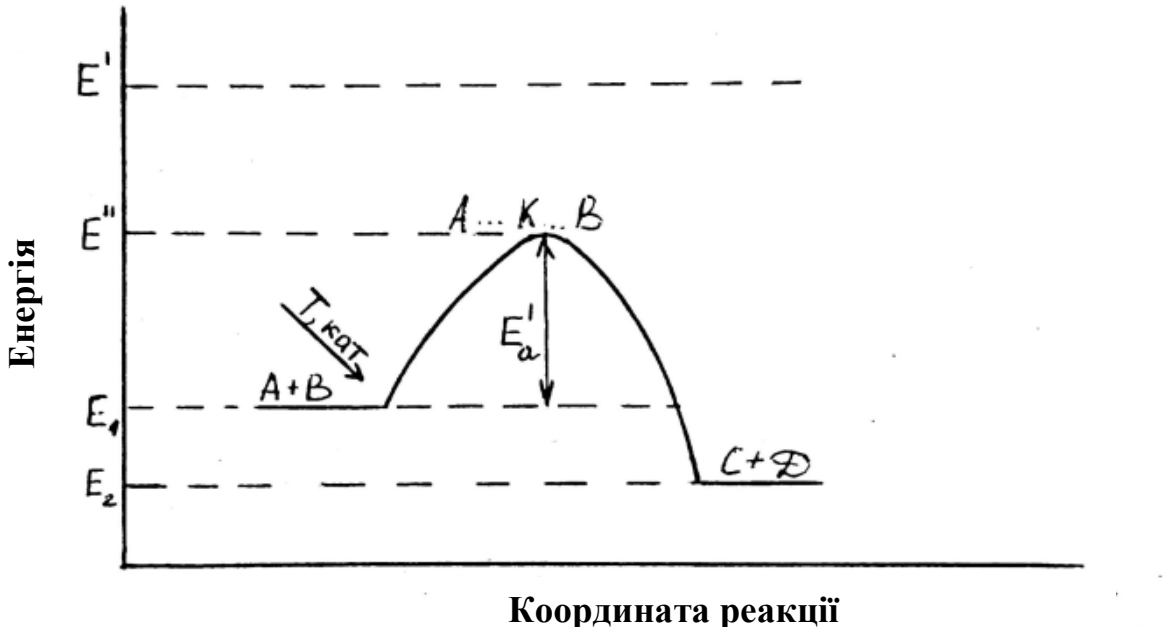


Рисунок 2.2 - Енергетична діаграма екзотермічної реакції під час впливу каталізатора

Нині одним із перспективних напрямів очищення викидів в атмосферу від фенолу є їх обробка в полях високої напруженості. На рисунку 2.3 наведено енергетичну діаграму хімічної реакції під час електрофізичного знешкодження фенолу.

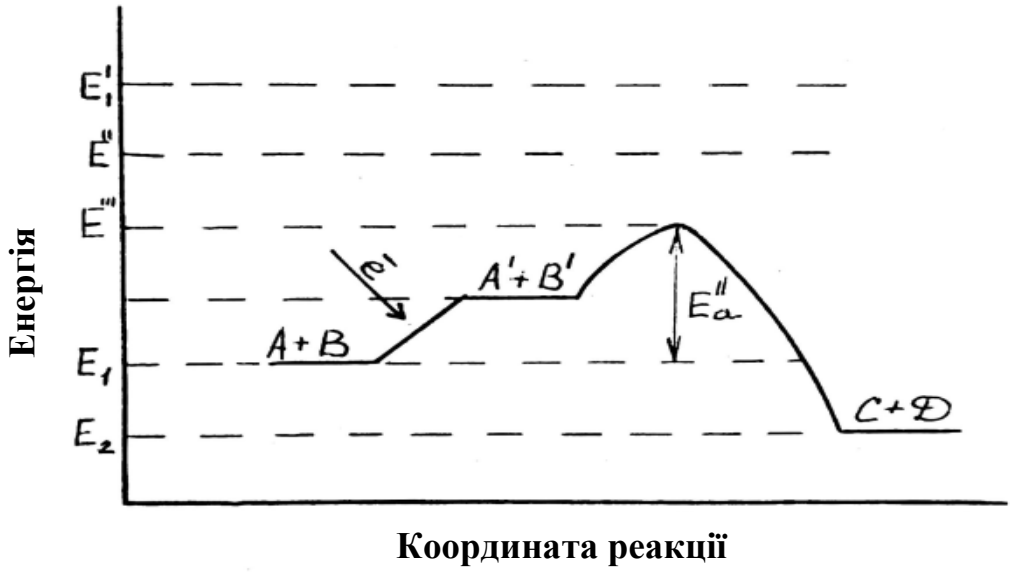


Рисунок – 2.3 Енергетична діаграма екзотермічної реакції під час електрофізичного впливу

Під час обробки феноловмісної повітряної суміші в полі високої напруженості електричне поле передає частину своєї енергії молекулам газу. При цьому змінюється електронна будова молекул, відбувається їх іонізація. Речовини А і В переходять в A_1 і B_1. Як відомо [19], реакції між іонами, збудженими молекулами характеризуються низьким значенням енергії активації $W_{a2} < W_{a1} < W_a$. Це призводить до швидкого перебігу реакції між початковими речовинами А і В і за менших енерговитрат. Таким чином, при електрофізичному знешкодженні фенолу, змінюється електронна будова вихідних речовин, їхня природа.

Це дає змогу за незначних порівняно з термічним і термокаталітичним способами очищення витрат енергії досягти аналогічних результатів за ефективністю знешкодження.

Наявні дані [17] щодо енерговитрат під час очищення газів підтверджують цей висновок. Так при термічному знешкодженні фенолу енерговитрати становлять 3,3 ГДж/кг, при термокаталітичному - 2 ГДж/кг. Розрахункові дані показують, що використання стримерного розряду для знешкодження фенолу тягне за собою споживання не більше 0,3 МДж/кг. Проведені проблемною науково-дослідною лабораторією запорізької державної інженерної академії лабораторні дослідження показали, що під час знешкодження газоповітряної суміші, яка містила 1,5 мг/м^3 фенолу, у стримерному розряді, енерговитрати становили 0,3 МДж/кг за ефективності очищення 93%.

Оцінюючи вищевикладене, енергетично доцільним є застосування електрофізичного способу знешкодження фенолу. Найбільш раціональним для реалізації цього способу очищення видається використання модернізованого електрофільтра, що дасть змогу в одному апараті знешкоджувати токсичні компоненти та видаляти зважені частинки, які містяться у газах, що відходять.

2.2. Оцінка ефективності різного виду газових розрядів для знешкодження шкідливих газоподібних компонентів викидів в атмосферу

Найповніший і детальний опис різних ефектів взаємодії іонізованого газу з електричним полем, що ініціює газовий розряд, можна дати лише за допомогою функції розподілу електронів [14]. Функція розподілу електронів за швидкостями визначається як [19]:

$$f(t, r, v) = dr\ dv\ dv \tag{2.1}$$

де $dr = dx\ dv\ dv\ dz$ - зміна елементарного об'єму;

$dv = dv_x\ dv_y\ dv_z$ - зміна елемента об'єму в просторі швидкостей;

t - час.

Формула (2.1) визначає число електронів, що перебувають у момент часу t в елементарному об'ємі dr, які мають компоненти швидкостей v_x, v_y, v_z *до* $v_x + dv_x$, $v_y + dv_y$, $v_z + dv_z$. Визначивши функцію розподілу електронів, можна обчислити будь-яку величину, що стосується електронного газу, зокрема, втрату енергії частинки, що зіштовхується, переріз зіткнення, диференціальний за втратою енергії переріз іонізації.

Однак, практичне визначення цих величин досить складне. Тому для розрахунку зміни енергії під час зіткнення частинок доцільно проводити розрахунки згідно з елементарною теорією іонізованого газу, що перебуває в полі електромагнітної хвилі.

Як зазначено в [19], описані нижче процеси обміну енергією адекватно розраховуються як відповідно до квантової теорії іонізованого газу, так і відповідно до класичної теорії іонізованого газу.

Під час проходження газу, що очищується через поле високої напруженості в ньому можуть виникати різні види газових розрядів. Для всіх цих розрядів характерні деякі загальні закономірності. На частині з них слід зупинитися, щоб розглянути процеси, що відбуваються з молекулами газу в розряді, тобто процеси, які визначають, зокрема, і розкладання токсичних компонентів.

Електричне поле передає вільним електронам, генерованим в газі, що очищується завдяки аналізованим електророзрядам, енергію, яка дорівнює роботі поля, що витрачається на їхнє прискорення, і орієнтує їхній рух за вектором напруженості цього поля [15]. Під час руху електрони піддаються пружним зіткненням з молекулами газу, за яких електронна будова молекул не змінюється, якщо їхня енергія не перевищує в момент зіткнення порогу збудження даного газу. Електрони, що володіють достатньою енергією, можуть піддаватися непружним зіткненням, під час яких вони передають частину своєї енергії молекулам газу, іонізуючи їх, переводячи їх у збуджений і надзбуджений стан. Збуджений стан характеризується наявністю валентних електронів на

нестаціонарних орбіталях, що підвищує хімічну активність молекул.

Якщо енергія електрона після непружного зіткнення не перевищує порога збудження αI молекул оброблюваного газу, то надалі, під час подальших зіткнень із молекулами, відбуваються пружні зіткнення, доки енергія електрона за рахунок дії поля не досягне величини α1.

Різні види газових розрядів і методи їхньої реалізації різняться, зокрема, значенням енергії, що передається електрону електричним полем. Це визначає і час набору вільним електроном енергії, достатньої для непружних зіткнень із молекулами газу, що очищуюьбся. У результаті таких зіткнень молекули переходять у нестабільний, високо реакційно-здатний стан, що дає змогу хімічним шляхом нейтралізувати шкідливі компоненти, які містяться в газових викидах.

Важливою величиною, що визначає можливість зіткнення швидкого електрона з молекулою газу, а відтак її дестабілізації, є переріз зіткнення. Переріз зіткнення має ймовірнісний характер і характеризує швидкості різних процесів зіткнень, а також їхнє співвідношення.

Таким чином, переріз має розмірність площі, але визначає ймовірність зіткнення і задається таким виразом [20] :

$$\sigma = \xi / (n \cdot v) \qquad (2.2)$$

де ξ - число швидких частинок, що зазнають за одиницю часу зіткнення з одним нерухомим розсіювальним центром;

n - концентрація швидких частинок;

v - швидкість швидких частинок до зіткнення.

Атоми, що гальмують електронний пучок, складаються з ядр і електронів, що мають заряд. Тому основним видом взаємодії є електростатичне притягання або відштовхування між атомними складовими та електронами пучка.

Розглянемо кулонівське зіткнення, коли втрачена швидким електроном

енергія мала порівняно з його початковою енергією. Тоді під час зіткнення траєкторія електрона практично не викривляється. Припустимо, що друга частинка (мішень) перебуває в стані спокою. Тоді з міркувань симетрії можна зробити висновок, що імпульс, якого вона набуває внаслідок зіткнення, спрямований перпендикулярно траєкторії електрона, що налітає.

За другим законом Ньютона зміна імпульсу першої частинки визначиться [14]:

$$dp / dt = k\, q_1\, q_2 / r^2 \tag{2.3}$$

де k - коефіцієнт пропорційності;

q_1 - заряд першої частинки;

q_2 - заряд другої частинки;

r - відстань між частинками.

Для перпендикулярної компоненти маємо:

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{kq_1q_2}{r^2} \cdot \frac{\rho}{r} = \frac{kq_1q_2}{r^3} \cdot \rho \tag{2.4}$$

Інтегруючи рівняння (8) маємо повну зміну імпульсу першої частинки:

$$\Delta p = \frac{2kq_1q_2}{pv} \tag{2.5}$$

де q_1 - заряд-першої частинки;

q_2 - заряд другої частинки;

ρ - прицільна відстань;

υ- швидкість частинки, що налітає

З урахуванням формули (2.5) вираз, що визначає енергію другої частинки, матиме вигляд:

$$\Delta W = \frac{k^2 q_1^2 q_2^2}{\rho^2 \upsilon^2 m_ч} \tag{2.6}$$

де $m_ч$ – маса другої частинки

Диференціальний за втратою енергії переріз іонізації σ (ΔW), що визначає

ймовірність зміни енергії рухомої частинки внаслідок зіткнення в інтервалі від ΔW до ΔW + d(ΔW), розраховується як:

$$\sigma(\Delta W)d(\Delta W) = 2\pi\rho\sigma(\Delta W)dp(\Delta W) = \frac{2\pi k^2 q_1^2 q_2^2(\Delta W)}{v^2 m(\Delta W)^2} \qquad (2.7)$$

де p (ΔW) - прицільна відстань, за якої частинка, що налітає втрачає енергію ΔW.

Повний переріз іонізації молекули б $_{\text{іон}}$ швидким електроном отримують інтегруванням диференціального перерізу в межах від I_w до W:

$$\sigma_{\text{іон}} = z_B \int_I^W \sigma(\Delta W)d(\Delta W) \approx z_B \pi k^2 e^4\, 2/Imv^2 \qquad (2.8)$$

де z_B - число валентних електронів молекули;

e - заряд електрона;

m - маса електрона.

Аналіз формули (2.8) показує, що з огляду на те, що перетин іонізації обернено пропорційно квадрату швидкості частинки яка налітає, що визначає її енергію, ймовірність іонізації та збудження не збільшується, а зменшується. Це пов'язано зі зменшенням часу взаємодії електронів, що стикаються, що сильно впливає на ефективність цієї взаємодії. Слід зазначити, що за енергії електрона W≥ 100 кеВ, ймовірність іонізації молекул практично стабілізується. Це пов'язано з наближенням швидкості електрона до граничного відповідно до теорії відносності значенням швидкості світла [14].

Як зазначалося раніше, іонізація молекули можлива, якщо під час зіткнення електрон має енергію, що перевищує потенціал іонізації цієї молекули. Таким чином, залежність імовірності іонізації від енергії електрона, що налітає, повинна мати екстремум (максимум).

На рисунку 2.4 представлено відому [21] залежність відносної іонізації - числа пар іонів, що створюються електроном на 1 см шляху, - від енергії електрона, що налітає, для молекул повітря. Ця залежність адекватно відображає

зміну ймовірності іонізації від енергії електрона, що налітає.

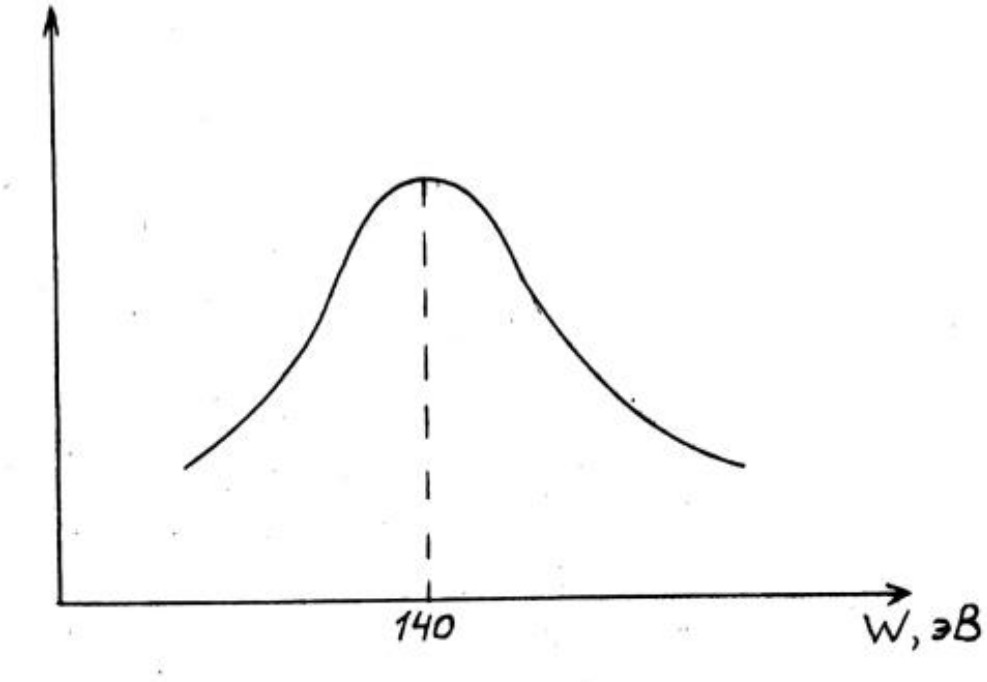


Рисунок 2.4 - Залежність відносної іонізації від енергії електрона, що налітає

Під час очищення промислових викидів, як правило, газом-носієм є повітря. Тому неважко дійти висновку, що для підвищення реакційної здатності молекул шкідливих компонентів і молекул кисню, найефективнішими будуть зіткнення з електронами, що мають енергію ~140 еВ.

Тому електрообробка газу, що очищується повинна проводитися в газовому розряді, що забезпечує більшості електронів енергію, близьку до оптимального значення.

Зважаючи на використання коронного розряду, електронної гармати в газоочисній техніці в нашій країні та за кордоном, апріорну перспективність стримерного розряду для очищення газів, розглянемо доцільність використання цих методів для очищення.

2.2.1 Оцінка ефективності коронного розряду для розкладання токсичних компонентів

Як вище зазначалося, зазвичай коронний розряд формується в умовах, коли висока різниця потенціалів створюється в різко неоднорідному електричному полі. При цьому розряд виникає поблизу електродів з великою кривизною поверхні. Як правило, "точковий" коронувальний електрод перебуває під негативною високою напругою і розташовується він між осаджувальними електродами - в окремому випадку, всередині заземленого циліндричного електрода.

Розрахуємо, якої енергії W_0 набуває електрон до моменту першого зіткнення з молекулами газу, що очищується під час коронного розряду, тобто за довжину свого вільного пробігу λ_e.

Розглянемо коронний розряд, що утворюється за діаметрів електрода, що коронує, 1 мм і круглого осаджувального електрода 100 мм. У цьому разі за атмосферного тиску коронний розряд зберігається за умови застосування до осьового електрода напруги не більше 20 кВ.

Енергія електрона визначається з виразу:

$$W_0 = \frac{m_e \upsilon_g^2}{2} \tag{2.9}$$

де m_e - маса електрона;

υ_g - швидкість руху електрона в напрямку поля. Відомо [17], що:

$$\upsilon_g = \frac{eE}{2m_e \nu_m} \tag{2.10}$$

де e - заряд електрона;

E - напруженість електричного поля в цій точці;

ν_m - частота зіткнення.

Частота зіткнень ν_m визначається з виразу [17]:

$$\nu_m = N\, \tilde{\upsilon}\, \sigma_c \tag{2.11}$$

де N - число молекул в 1 см³; для тиску 0,1 МПа (1 атм) і температурі 0˚ С

$$N = 2{,}7 \text{ x } 10^{19} \text{ см}^{-3};$$

σ_c - перетин зіткнень; приймаємо $\sigma_c \approx 10^{-15} \text{ см}^2$ [17];

$\tilde{\upsilon}$ - середня хаотична швидкість електрона:

$$\tilde{\upsilon} = 6{,}21 \text{ x } 10^{(5)} \cdot \sqrt{T}$$

де T - температура, К; тоді $\tilde{\upsilon} = 6{,}21 \text{ x } 10^5 \text{ x}\sqrt{273} = 1{,}03 \text{ x } 10^7 \text{ см/с}$. Таким чином, за вищеназваних параметрів $\nu_m = 2{,}8 \text{ x } 10^{11} \text{ с}^{-1}$

Напруженість поля в точці, віддаленій на відстань x від нескінченно тонкої осі, визначається [13] як:

$$E = \frac{U}{x ln(R_2/R_1)} \tag{2.12}$$

де U - напруга, прикладена до електрода, що коронує;

R_1 - радіус електрода, що коронує;

R_2 - радіус осаджувального електрода

Довжина вільного пробігу електрона визначається [22] з виразу:

$$\lambda_e = 4\sqrt{2}\ \lambda_д ,$$

де $\lambda_д$ - середній вільний пробіг молекул газу за атмосферного тиску;

$\lambda_д \approx 0{,}1$ мкм [22] . Тоді $\lambda_e = 5{,}65.10^{-5}$ см.

Підставляючи значення напруженості у вираз (14), а значення швидкості υ_g у вираз (2.10) маємо:

$$W_0 = \frac{e^2E^2}{8m_e\upsilon_m^2} = \frac{e^2U^2}{8m_e x^2(\ln(R_2/R_1))^2\upsilon_m^2} \tag{2.13}$$

До моменту першого зіткнення електрон від нескінченно тонкої осі пройде відстань x, що дорівнює сумі значення радіусу електрода, що коронує, і довжини вільного пробігу електрона λ_e.

Для другого зіткнення: $x = (R_1 + 2\lambda_e)$, для n-го: $x = (R_1 + n\ \lambda_e)$. Для конкретних умов існування коронного розряду вираз:

$$A = \frac{e^2 U^2}{8 m_e x^2 (\ln(R_2/R_1))^2 \upsilon_m^2} = const \qquad (2.14)$$

Тоді енергія, набута електроном за n-у довжину вільного пробігу, визначиться як:

$$W_0 = \frac{A}{x^2} = \frac{A}{(R_1 + n\lambda_e)^2} \qquad (2.15)$$

Для вищеназваних умов існування коронного розряду, еВ:

$$W_0 = \frac{15{,}9}{(1 + 5{,}65 \cdot 10^{-4} n)^2} \qquad (2.16)$$

Як показує формула (2.13), для збільшення енергії електрона необхідно збільшити або прикладену напругу, або зменшити частку R_2/R_1. Слід зазначити, що в разі збереження коронного розряду вищеназвані величини взаємозалежні, тобто збільшення напруги без зміни міжелектродної відстані веде до іскрового пробою. Логічно припустити, що збільшення R_1 радіусу коронуючого електрода призведе до збільшення енергії електрона. Слід зазначити, що у формулі (2.13) x - відстань, яку пройде електрод до моменту першого зіткнення з молекулами газу від нескінченно тонкої осі. Тому x визначається як сума радіуса електрода, що коронує, і довжини вільного пробігу електрона, при цьому домінантним у визначенні x є другий доданок за умови (n<2000), в інших випадках (2000<n<2000) x визначається значенням першого доданка суми.

Слід звернути увагу, що існує граничне для збереження коронного розряду, за інших рівних умов, значення R_1. Таким чином, збільшення R_1 не дає бажаного результату.

Зменшення радіуса осаджувального електрода R_2 без зміни напруги призводить до іскрового пробою.

Оцінюючи вищевикладене, слід зазначити, що оптимальним з погляду енергії електрона буде такий режим, коли до електродів прикладено максимально можливу для даної міжелектродної відстані, даної форми електродів напругу, за

якої зберігається коронний розряд. Однак, на відміну від електрофільтра, для газоочищення не потрібна постійна напруга.

Розрахунок, проведений за формулою (2.16), енергії, що набувається електроном за довжину його вільного пробігу, показав, що більшість непружних зіткнень із молекулами газу, що очищується, а отже знешкодження шкідливих компонентів, відбуватиметься на відстані ≈ 20000 λ_e ≈ 1,1 см від електрода, що коронує, коли енергія електрона перевищує поріг збудження молекул фенолу. Відстань 20000 λ_e становить у розглянутому випадку11% від міжелектродної відстані, тобто ≈ 89% об'єму розрядної камери використовується неефективно.

Таким чином, використання коронного розряду для знешкодження газових компонентів, що містяться у викидах в атмосферу, принципово можливе. Але воно вимагає створення газоочисного апарату певної конструкції, що забезпечує обов'язкове переміщення всього об'єму оброблюваного потоку до коронуючого електрода [23].

2.2.2 Розкладання токсичних компонентів в однорідному електричному полі

Розглянемо, якої енергії набуватиме електрон за довжину вільного пробігу під час проходження газу, що очищується, між двома паралельними електродами, до яких прикладено постійну напругу, тобто в однорідному електричному полі. Таке конструктивне виконання забезпечує рівномірну обробку міжелектродного простору. Для створення порівнянних умов із вищеописаним коронним розрядом, приймаємо, що максимальна напруга, за якої не відбувається пробій газового проміжку, становить $U = 20$ *кВ* за міжелектродної відстані $d = 5$ *см*. Напруженість цього електричного поля буде величиною постійною і визначиться як:

$$E=U / d =4 \times 10^5 В/м$$

За формулою (18) визначимо енергію, яку набуває електрон за довжину вільного пробігу. Вона становитиме $W_{(0)} \approx 0,1\ eB$.

Слід зазначити, що в цьому разі величина $W_0 = const$, тобто за кожну довжину вільного пробігу електрон набуватиме 0,1 еВ. Для набуття енергії, що дорівнює порогу збудження молекули азоту (8,58 еВ) [24], електрону необхідно пройти відстань ~ 81 λ_e. Неважко розрахувати, що за всю міжелектродну відстань відбудеться приблизно 1000 непружних зіткнень, що, як показує розрахунок, у 10 разів менше, ніж в активній зоні коронного розряду.

Таким чином, ефективність обробки газу в однорідному полі приблизно в 10 разів нижча, ніж під час обробки за допомогою коронного розряду. Це робить недоцільним використання однорідного електричного поля для розкладання газоподібних компонентів, що містяться у викидах в атмосферу.

2.2.3 Аналіз знешкодження шкідливих газоподібних компонентів електрохімічним способом

Нині велику увагу приділяють способам очищення газів шляхом опромінення газів, що відходять, пучком електронів.

Основним елементом установки, що реалізує цей метод, є електронно-пучковий процесор, що являє собою власне газорозподільний процесор.рядну електронну гармату, блок високовольтного трансформатора і блок управління.;

Блок електронної гармати включає плоский катод, на який подається висока напруга. Катод знаходиться у вакуумній заземленій камері й утворює плоско-паралельну електродну структуру з перфорованим анодом.

Опорна решітка й анодна пластина утворюють камеру для генерації анодної плазми, в яку введено електроди допоміжного високочастотного розряду, що збуджується генератором ВЧ-напруги. Тонка металева фольга (з титану) розділяє об'єми вакуумної камери і зовнішнього середовища (реактора, через

який проходить газ), фольга прозора для електронів, що мають достатню енергію і генеруються на поверхні катода.

Вакуумна система електронно-пучкового процесора за допомогою форвакуумного насоса забезпечує залишковий тиск у камері електронної гармати близько 5 Па.

Область збудження анодної плазми, обмежена площинами анода і вивідного пристрою, утвореного опорними ґратами і фольгою, є джерелом іонів, що емісуються плазмою у напрямку до катода основного розряду.

Прискорені електрони бомбардують поверхню холодного катода і призводять до емісії електронів, прискорених електричним полем. Електронний пучок виводиться за межі вакуумної камери, проходячи через вивідний пристрій, проникний для електронів з енергією понад 80 кеВ.

Слід зазначити, що близько 70% енергії електронів втрачається під час проходження фольги, решта енергії може передаватися молекулам токсичної речовини в реакторі.

Реактор, розташований нижче вигідного пристрою камери процесора, являє собою футеровану свинцем металеву камеру.

Розглянемо процеси, що відбуваються під час обробки газу, що очищується електронним пучком. Електрони розганяються у вакуумній камері та крізь фольгу потрапляють у реактор, де відбувається їхній контакт із молекулами газу, що очищується. Після проходження фольги електрони мають енергію 102 кеВ [25], що відповідає робочому режиму електронної гармати. При непружному зіткненні з молекулами газу, що очищується, кожен електрон у середньому, втрачає, відповідно до формули (2.15), 74 еВ. Таким чином, відбудеться 1378 непружних зіткнень електронів з молекулами газу. З них - 85% будуть неефективні з передачі енергії, оскільки енергія електрона, що налітає, більш ніж у 100 разів перевершує оптимальну для іонізації енергію (див. рис. 2.1).

Слід зазначити, що втрати на випромінювання, що визначаються

кінетичною енергією електрона, під час використання електронного пучка в 1000 разів [18] перевершують аналогічну величину під час застосування стримерного розряду.

Таким чином, використання електронного пучка для знешкодження шкідливих компонентів, що містяться в газових викидах, можливе, але воно пов'язане з використанням складної дорогої техніки.

З огляду на "прозорість" фольги лише для електронів з енергією 100 кеВ, що багаторазово перевершує оптимальний для іонізації рівень, застосування цього способу вимагає надлишкового докладання енергії. Додаткові витрати пов'язані із захистом від випромінювання, що виникає під час роботи електронної гармати.

2.2.4 Розкладання токсичних компонентів у стримерному газовому розряді

Стримерний розряд являє собою щось проміжне між коронним розрядом та іскровим пробоєм. Постійний стримерний розряд можна створити подачею на коронуючий електрод дуже коротких пульсацій високої напруги тривалістю ~ 200 нс. При цьому між електродами виникають стримери. Час імпульсу, під час якого існує стример, недостатній для розвитку іскрового пробою.

Таким чином, у стримерному пристрої можуть використовуватися дуже високі рівні імпульсної напруги без загрози виникнення пробійних явищ.

Відповідно, електрони, що прискорюються, можуть набувати високих рівнів енергії.

Розглянемо, яку енергію набуває електрон за довжину вільного пробігу під час стримерного розряду, що реалізується в апараті, описаному під час розрахунку енергії електрона для умов коронного розряду (див. п. 2.1.1). У

даному випадку, амплітудне значення напруги, що подається під час імпульсу в реалізованому розряді, становитиме | U_a | = 100 кВ, тривалість переднього фронту імпульсу $\tau_ф$= 50 нс (див. рис. 2.5).

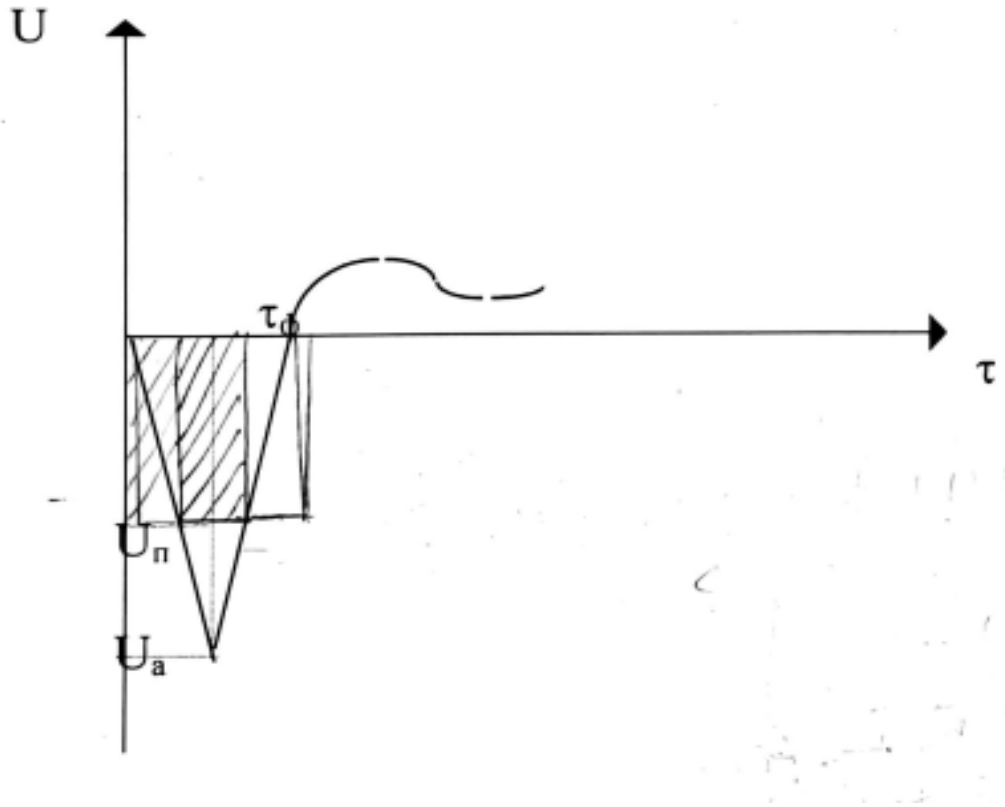


Рисунок 2.5 - Схема подачі напруги на електроди під час стримерного газового розряду

Для газоочищення мають значення явища, що відбуваються за час переднього фронту імпульсу, оскільки в цей час напруга досягає 100 кВ. Для спрощення розрахунку приймаємо, зважаючи на рівну витрачувану енергію, що протягом 50 нс імпульсна напруга є постійною і її значення становить 0,8 | U_a |= | $U_п$ | = 80 кВ.

За формулою (2.13) визначимо енергію, яку набуває електрон за довжину вільного пробігу. У результаті маємо:

$$W_0 = \frac{63{,}6}{(1 + 5{,}65 \cdot 10^{-4} n)^2} \qquad (2.17)$$

Порівнюючи вирази (2.15) і (2.16), неважко бачити, що зона непружних зіткнень збільшиться в 4 рази і, отже, становитиме ≈ 4,4 см, що відповідає ~ 44% міжелектродної відстані. Як показує розрахунок енергії електрона (див. п. 2.2.1), за час імпульсу електрон пройде відстань, що менша за 4,4 см, тобто всі зіткнення електрона з молекулами газу, що очищується будуть непружними.

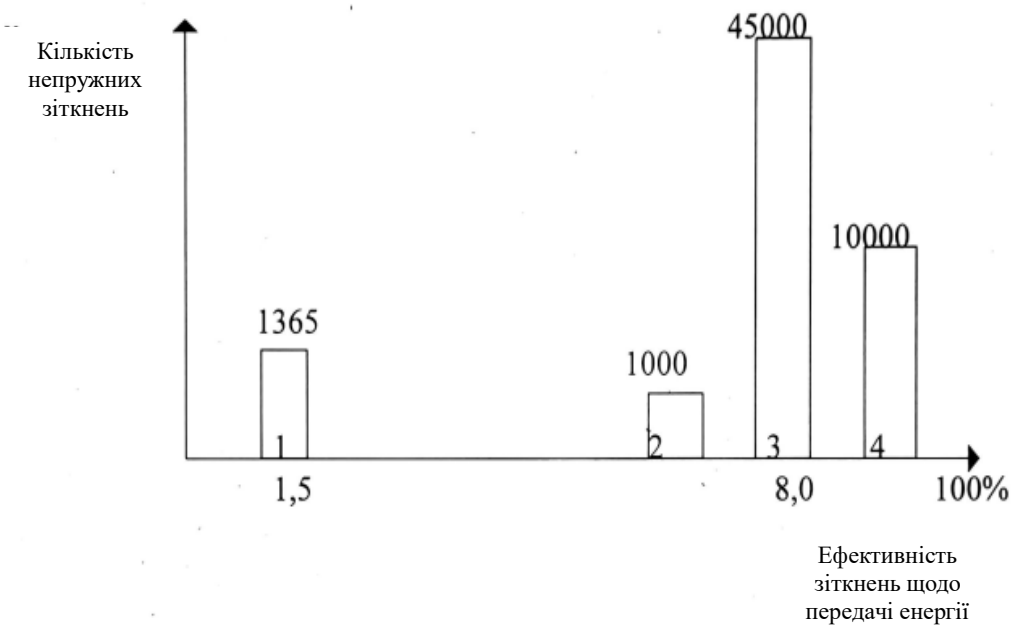
На відміну від опромінення газів, що відходять, пучком електронів, під час стримерного розряду електрон під час імпульсу набуває енергії від електричного поля до моменту, коли стає можливим непружне зіткнення. Для молекул більшості речовин поріг збудження перебуває в межах від 5еВ до 9еВ [17].

Тому енергія електрона при непружному зіткненні відрізняється від оптимальної (рис.2.4) не більш як у 20 разів, тоді як у разі використання електрохімічного способу, більш ніж у 100 разів.

Результати виконаного аналізу щодо визначення ефективності різних газових розрядів для розв'язання розглянутих задач наведено на рисунку 2.6.

Відносно невелика кількість непружних зіткнень під час використання електронної гармати зумовлена тим, що електрон через короткочасність контактів не встигає передати необхідну енергію молекулам газу, що очищується. Відбувається лише деяке гальмування електронів за рахунок передачі частини їхньої енергії молекулам газу. При цьому енергообмін відбувається за енергії електрона, що налітає, яка більш ніж у 100 разів перевищує оптимальне значення для знешкодження токсичних елементів.

Для газових розрядів непружні зіткнення стають можливими лише тоді, коли електрони набирають енергію, що дорівнює, як мінімум, потенціалу збудження молекул [21]. При цьому їхня енергія повинна прагнути до оптимального для енергообміну значення.



1 - вплив пучком електронів, 2 - обробка в однорідному електричному полі, 3 - обробка в стримерному розряді, 4 - обробка в коронному розряді.

Рисунок 2.6 - Ефективність різних зарядів щодо утворення хімічно активних речовин

На підставі всього наведеного вище неважко встановити, що під час стримерного розряду електрон набуває за довжину вільного пробігу більшої енергії, ніж під час будь-якого іншого газового розряду, а саме енергія електрона в даному випадку визначає ефективність розкладання токсичних речовин. При цьому ефективність використання енергії при стримерному розряді вища, ніж при обробці газів, що відходять, пучком електронів.

Таким чином, для розкладання шкідливих газоподібних компонентів у металургії найбільш прийнятним є стримерний розряд.

2.3. Експериментальне дослідження розкладання кисневмісних вуглеводнів у газових розрядах

2.3.1 Знешкодження у стримерному розряді відхідних газів, що містять фенол

Для експериментальних досліджень процесів, що відбуваються під час обробки кисневмісних вуглеводнів стримерним розрядом, розроблено і змонтовано лабораторну установку. Схему її представлено на рисунку 2.7.

Лабораторна установка включає: повітродувку 1, джерело фенолу 2, вентиль 3, барботер 4, резервуар газової суміші 5, витратомір 6, стримерну камеру 7, барботер 8, випрямляч постійного струму 9, формувач коротких імпульсів 10.

Установка працює таким чином. Повітря, що нагнітається повітродувкою 1, збагачується парами фенолу і надходить до резервуару 5, де, шляхом розбавлення, досягається концентрація фенолу, порівнянна з реальними значеннями у виробничих умовах. Газова суміш, що містить фенол, проходить стримерну камеру 7, де завдяки пристроям 9 і 10 реалізується стримерний розряд. Стримерна камера представлена на рисунку 2.8. Вона містить скляний корпус 1, вхідний патрубок 2, вихідний патрубок 3, опорне кільце 4, мідне обплетення 5, дротяний електрод 6. Мідне обплетення 5 заземлене. Під час подавання імпульсів напруги на електрод 6 утворюється стримерний розряд із такими характеристиками: амплітудне значення напруги 100 кВ, тривалість переднього фронту $\tau_ф$ 50 нс, але при цьому молекулам газу передається значно більше енергії (див. п. 2.1), ніж під час коронного розряду. Це зумовлює наявність значної кількості хімічно активних частинок і, отже, більш ефективне розкладання токсичних компонентів, ніж в інших газових середовищах.

Вміст фенолу в газі визначали фотоколориметричним методом до і після

проходження газом, що очищується зони розряду.

Результати досліджень наведено в таблицях 2.1, 2.2 у графічному вигляді результати проведених досліджень наведено на рисунках 2.9, 2.10.

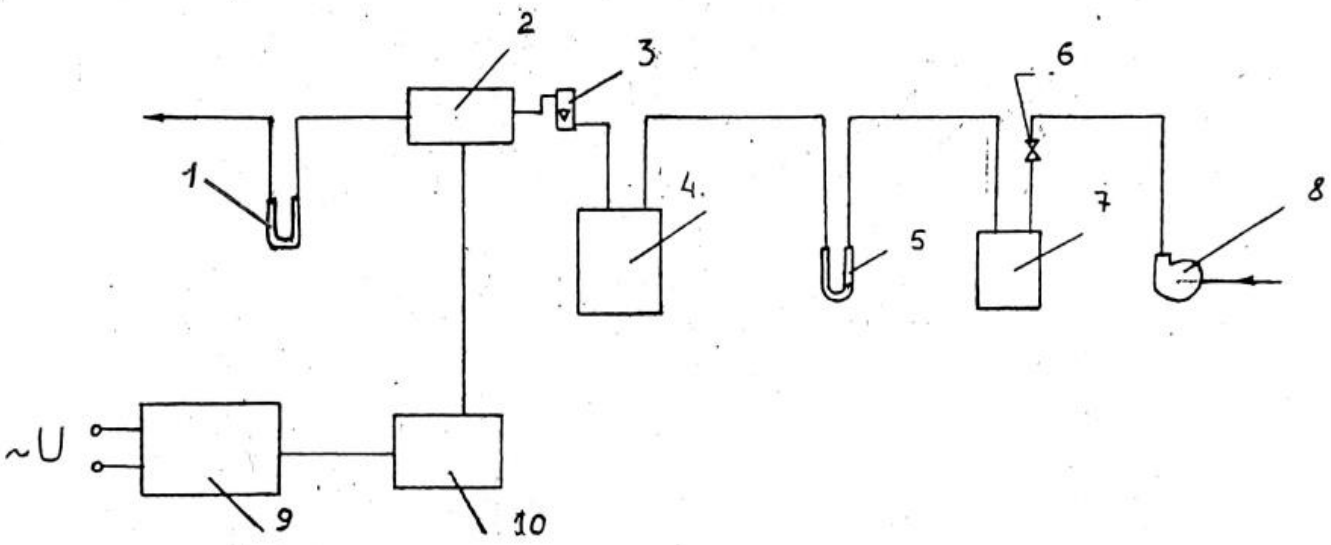


Рисунок 2.7 - Схема лабораторної установки для дослідження розкладання токсичних речовин за допомогою стримерного розряду

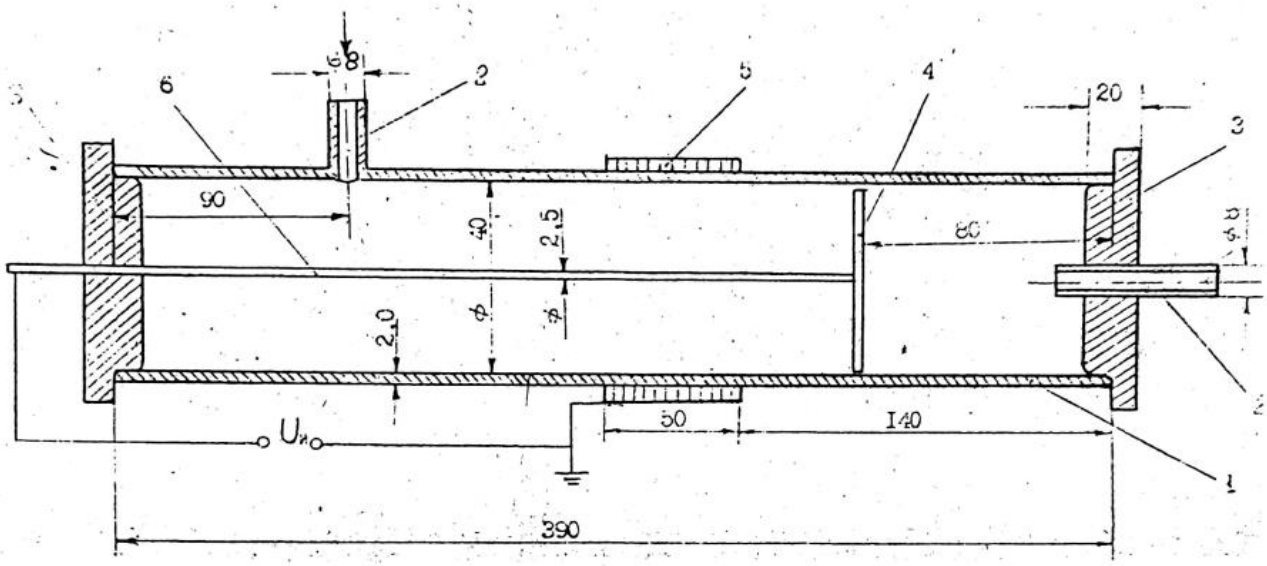


Рисунок 2.8 - Схема стримерної камери

Таблиця 2.1 - Результати досліджень залежності ступеня знешкодження фенолу від амплітудного значення напруги, що додається, за міжелектродної відстані 0,02 м.

U_a , кВ	$C_{вх}$, мг/м^3	$C_{вих}$, мг/м^3	η, %
25	0,035	0,025	30
50	0,135	0,047	64
75	0,208	0,033	85
100	1,57	0,048	93

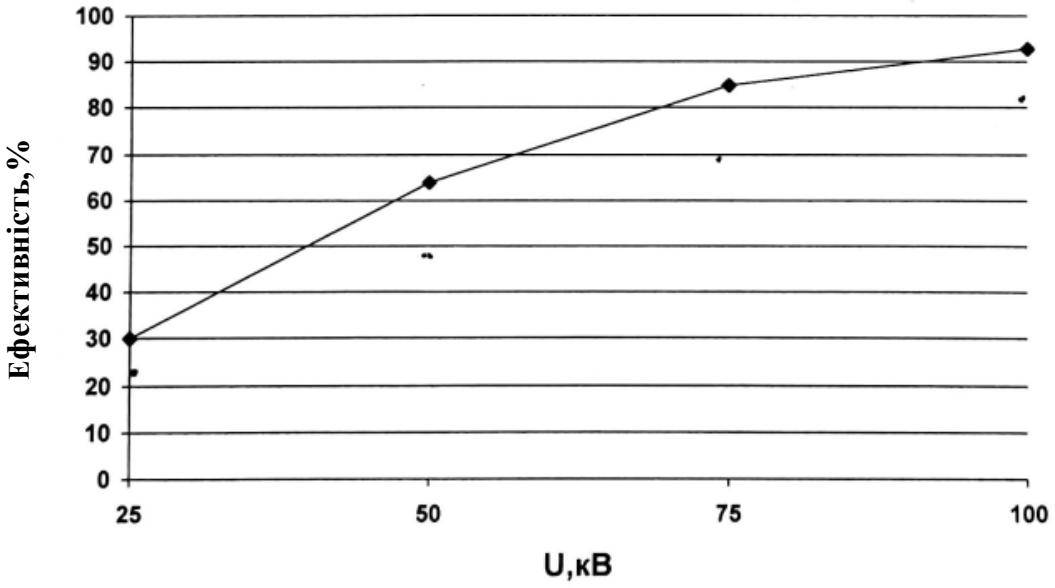


Рисунок 2.9 - Залежність ефективності знешкодження фенолу від прикладеної напруги

Таблиця 2.2 - Результати досліджень залежності ступеня знешкодження фенолу від його початкової концентрації за амплітудного значення напруги 100 кВ і міжелектродної відстані 0,02 м

$C_{вх}$, мг/м^3	$C_{вих}$, мг/м^3	η, %
0,25	0,025	90
0,51	0,077	85
1	0,16	84
120	25,2	79
1023	306,9	70

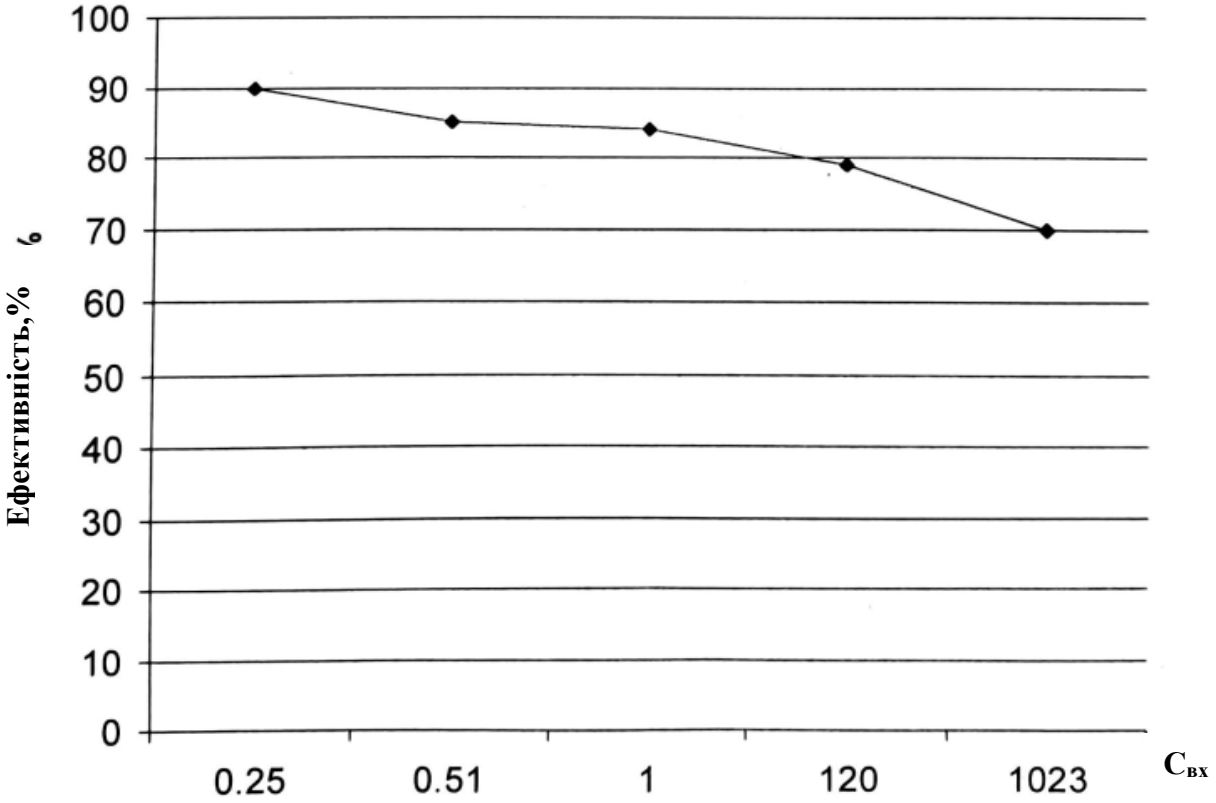


Рисунок 2.10 - Залежність ступеня знешкодження фенолу від його початкової концентрації

Результати експериментів показали, що найсильніший вплив на ефективність уловлювання фенолу справляє зміна амплітудного значення напруги під час імпульсу. Це узгоджується з положеннями, викладеними в п. 2.1. Подальше збільшення напруги, що додається, обмежене технічними можливостями наявного обладнання та пробоєм міжелектродного проміжку.

Незначна зміна ефективності уловлювання фенолу при зміні його початкової концентрації в досліджуваних межах говорить про достатню кількість хімічно активних частинок для нейтралізації фенолу.

2.4 Висновки по розділу 2

1. Для знешкодження токсичних газоподібних компонентів з енергетичного погляду доцільне застосування стримерного розряду.

2. Тільки стримерний розряд забезпечує утвореним вільними електронам енергію, яку можна порівняти з оптимальним значенням 140 еВ для утворення хімічно активних частинок.

3. Встановлено оптимальні параметри стримерного розряду, за яких ефективність розкладання фенолу становила 93%.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Метою охорони праці є, з одного боку, забезпечення високого рівня фізичного стану організму працівника, тобто здібності всесторонньо активної дії самого організму проти різних зовнішніх і внутрішніх чинників, які можуть погіршити здоров'я, і тим самим, вплинути на працездатність людини. З іншого боку, мета охорони праці - створення таких санітарно- технічних умов і заходів техніки безпеки в робочому середовищі, які забезпечували б максимальну безпеку і працездатність працюючих. Все це забезпечує високу продуктивність праці і високу якість роботи.

3.1 Основні шкідливості та небезпеки виробничого середовища

Робота в коксових цехах характеризується наявністю ряду небезпек і ризиком для персоналу, що обслуговує.

Небезпечні та точні виробничі фактори поділяються за природою на наступні групи:

- фізичні;
- хімічні;
- психофізологічні.

Фізичні:

-рухомі машини і механізми; рухомі частини виробничого обладнання; матеріали;

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;

- відсутність чи нестача природного світла;

- підвищений рівень інфрачервоної радіації;

- розташування робочого місця на значній висоті щодо поверхні землі (підлоги);

- наявність високої напруги;

- відкритого типу тролеї під напругою;

- відкритий вогонь.

Хімічні

- коксовий газ, фенольна та аміачна вода, які можуть проникати в організм людини через:

- органи дихання;

- шлунково-кишковий тракт;

- шкірні покриви та слизові оболонки.

Психофізіологічні

- динамічні фізичні навантаження [26].

Коксовий газ містить у своєму складі 6% чадного газу без кольору та смаку, зі слабким запахом часнику. При отруєнні викликає нудоту, головний біль.

Межа вибухонебезпеки суміші коксового газу та повітря становить від 6% до 30%.

Всі пересування робочого персоналу як на території цеху, так і на підходах до нього здійснюються за спеціальними переходами, перехідними доріжками і тільки кроком.

У зв’язку з конструктивною особливістю робочого майданчика (відсутність огорожі) забороняється ходити по краю робочих майданчиків коксових батарей. У разі поганої видимості через наявність пари слід пересуватися дуже обережно, дотримуючись анкерних колон, або взагалі припинити рух.

На робочому майданчику з машинного боку забороняється:

1. Проходити під виштовхувальною штангою коксовиштовхувача.

2. Проходити між відкритою піччю і штангою, що виштовхує, або між відкритою піччю і знятими дверима.

3. Проходити під час відкривання та закривання планірного лючка на робочому майданчику з машинного боку.

З коксової сторони необхідно прислухатися до сигналів дверей машини і при її наближенні піти на кінцевий майданчик.

При наближенні тушильного вагона з розпеченим коксом треба повернутись обличчям до анкерних колон.

На робочому майданчику з коксового боку забороняється:

1. Переходити через коксонаправляючу дрез'ємну машину і проводити будь-які ремонтні роботи ззаду дверез'ємної машини без ознайомлення зі спеціальною інструкцією.

На верху коксових печей забороняється:

1. Проходити між завантажувальним вагоном та стояком під час завантаження.

2. При виході на верх батареї необхідно остерігатися завантажувального вагона, що рухається. Пересуватися слід обережно, не наступаючи на кришки завантажувальних люків, і лише за відсутності запарованості і загазованості.

3. Забороняється виходити на шлях тушильного вагона і проходити під вежею гасіння без команди майстра та за наявності напруги на тролеях електровозу та не відключених насосах вежі гасіння.

У разі травми або нездужання припинити роботу, сповістивши про це майстра і звернутися до медпункту.

Кожен робітник, який помітив небезпеку (пожежа, вибухи, обриви електропроводів, витік газу) зобов'язаний повідомити про це майстра та попередити можливі нещасні випадки.

При виникненні пожежі, необхідно викликати пожежну команду та вжити дієвих заходів для ліквідації вогнища за допомогою наявних засобів

пожежогасіння, попередньо повідомивши про це майстра.

Кожен робітник зобов’язаний надавати або організувати першу допомогу потерпілому від нещасного випадку (при ураженні струмом зробити штучне дихання, за інших нещасних випадків - викликати швидку допомогу).

Забороняється виконувати не доручені адміністрацією роботи або виконувати незнайому роботу без додаткового інструктажу майстра.

За невиконання та недотримання вимог інструкції порушник карається відповідно до чинного законодавства України [26].

3.1.1 Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек

Для усунення перерахованих в попередньому підрозділі шкідливостей і небезпек передбачається проведення наступних заходів:

1. Конструктивні інженерні рішення:

- механізація і автоматизація виробничих процесів;

- дистанційне спостереження і управління технологічним процесом (що дозволить скоротити кількість працюючих і вивести їх із зони можливих несприятливих умов праці);

- блокування робочих механізмів;

- попереджувальна візуальна сигналізація;

- огорожа механізмів, що обертаються;

- огорожа заглиблених приміщень насосних станцій горожами поручнів;

- організація місцевої припливно-витяжної вентиляції і загального повітрообміну;

- періодична перевірка і випробування вантажопідйомного устаткування;

- застосування обслуговуючим персоналом індивідуальних засобів

захисту.

2. Організаційні заходи:

- проведення інструктажу по техніці безпеки на робочому місці;

- періодичний контроль за виконанням персоналом правил з техніки безпеки;

- використання застережливих плакатів, написів [26].

3.2 Електробезпека

Для умов досліджуваного відділу коксохімічного підприємства регламентовані правила електробезпеки, що викладені нижче.

Експлуатацію електроустановок повинні здійснювати спеціально підготовлені працівники.

На роботах, пов’язаних з небезпекою ураження електричним струмом, необхідно застосовувати захисні засоби відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів з охорони праці та промислової безпеки.

Металеві частини обладнання та механізмів, які не перебувають під напругою (корпуси електродвигунів, пускових приладів, щитків, збірок тощо), але можуть опинитися під нею внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути заземлені.

Під час завантаження та розвантаження бензольних продуктів необхідно заземлювати наливний пристрій та тару. Крім того, повинні бути заземлені рейки залізничних колій в районі наливних станцій, а також стаціонарні розвантажувальні та завантажувальні майданчики.

Якщо немає вибухозахищених електродвигунів, що відповідають класу вибухонебезпечної зони, а також категорії та групі вибухонебезпечних сумішей, допускається застосування електродвигунів загального призначення при дотриманні таких вимог:

– електродвигуни повинні бути встановлені у приміщеннях, ізольованих від приміщень із вибухонебезпечними зонами глухою негорючою стіною з межею вогнестійкості 0,75 години, а приміщення повинні мати окремий вхід (вихід) і в них повинен забезпечуватися надлишковий тиск повітря;

– передача механічної енергії від двигунів до апаратів повинна здійснюватися за допомогою валу, який пропущений через стіну з обладнанням у ній сальникового або іншого надійного ущільнення;

– у приміщеннях, де встановлені електродвигуни або розподільні пристрої та вся пускова апаратура, не повинно бути вибухонебезпечних зон.

У приміщеннях, де здійснюється переробка токсичних матеріалів, повинно проводитися вологе прибирання. Прибраний пил необхідно утилізувати. У таких приміщеннях електропроводка та пускове обладнання повинні бути у пиловодонепроникному виконанні [27].

Електропроводка в приміщеннях, де можливий розлив рідких продуктів виробництва, повинна бути розташована в місцях, де неможливе попадання на неї цих продуктів, або мати відповідний захист.

Тролейні проводи, які прокладені над проходами або проїздами, повинні бути огороджені захисними сітками із заземленням.

Електрозварювальні установки, що застосовуються для зварювання в особливо небезпечних умовах (усередині металевих ємностей, у трубопроводах, колодязях, тунелях, котлах тощо), повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів з охорони праці та промислової безпеки.

Електрозварювальні установки, що призначені для роботи в приміщеннях з підвищеною небезпечністю, повинні мати пристрої автоматичного вимкнення напруги холостого ходу, обмеження її до напруги 12 В з витримкою години не більше ніж 1 с.

Для охолодження електронагрівачів до реакторів підводять стиснений повітря, що подається крізь регулятор тиску та фільтр-вологовідокремлювач.

Електронагрівачі каталітичних реакторів виключаються при:

– зупинці вентилятору;

– при підвищенні температури перед вентилятором та після каталізатору;

– при зменшенні тиску повітря при охолодженні клемної коробки реактора.

Будівля газоочищення повинні мати приміщення КВП та електропункт.

Для умов промислової лабораторії окремо повинні виконуватись нижченаведені положення [26].

Основні споживачі електроенергії в аудиторії – ТЕН та ексгаустер доцільної установки, освітлювальна установка в холодний період року – електрокалорифери.

Згідно з ПБЕ [28] приміщення лабораторії відноситься до сухих (відносна вологість повітря не перевищує 45%), жарких (температура повітря може тривалу годину перевищувати 27°С), не пильних, без струмопровідної підлоги та без хімічно активної середовища.

Приміщення лабораторії відноситься до поміщень з підвищеною небезпечністю ураження струмом, оскільки тут у теплий період року можлива температура повітря, що тривало перевищує 30°С.

Для живлення виробничого обладнання використовується трифазна чотирипровідна мережа змінного струму з глухозаземленою нейтралью напругою 380/220 В.

Як захисні заходи від ураження електричним струмом у лабораторії застосовується:

− електрична ізоляція струмопровідних частин – гумова, поліхлорвінілова, бавовняна, нормативний опір ізоляції на ділянці (між двома послідовно встановленими апаратами захисту або після останнього апарату) 500 кОм;

− знижена напруга для ручного електроінструменту 3 класу та переносних світильників – 12В, з використанням знижувальних трансформаторів із

зануленою вторинною обмоткою;

− підвійна електроізоляція ручного електроінструменту 2 класу – струмопровідних частин усередині корпусу та самого корпусу;

− захисне занулення електроустановок;

− захисне відключення – як додаткова міра захисту до занулення;

− електрозахисті засоби.

Електротехнічне обладнання має закрите виконання струмопровідних частин. Все електротехнічне обладнання заземлюється підключенням до загальної системи заземлення.

Як основних засобів захисту від дотику до не струмопровідних частин електроустановок, що випадково опинилися під напругою, у мережі з глухо заземленою нейтралью застосовується захисне занулення. Принцип його дії – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазним і нульовим захисним провідником) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від мережі [26].

Ізолюючі електрозахисні засоби, що застосовуються для обслуговування електроустановок, діляться на основні та додаткові. Основні мають достатній опір, щоб витримати робочу напругу обладнання. Ними можна торкатися відкритих струмопровідних частин. Додаткові засоби не мають такого електричного опору. Їх призначення – підсилювати захисну дію основних засобів, разом з якими вони повинні застосовуватись. У лабораторії можуть застосовуватися електрозахисні засоби для напруги до 1000 В (табл. 3.1) [27].

Таблиця 3.1 – Ізолюючі електрозахисні засоби

Основні засоби	Додаткові засоби
Діелектричні рукавички, ізолюючі штанги, ізолюючі струмовимірюючі кліщі, показники напруги, слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками	Діелектричні калоші, коврики; ізолюючі підставки

3.2.1 Розрахунок захисного заземлення дільниці коксосортування

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою унаслідок замикання на корпус і по інших причинах (індуктивний вплив сусідніх струмоведучих частин, внесення потенціалу, розряд блискавки і тому подібне).

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки поразки струмом в разі дотику до корпусу електроустановки і іншим неструмоведучим металевим частинам, що випадково виявилися під напругою.

Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруги дотику і кроку. Це досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого устаткування (за допомогою малого опору заземлювача), а також шляхом вирівнювання потенціалів підстави, на якій стоїть людина, і заземленого устаткування [29].

Заземленню підлягають:

– металеві корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів і електроприймачів;

– приводи електричних апаратів – раз´єднувачів, вимикачів;

– каркаси розподільних пристроїв;

– металеві конструкції пристроїв, кабельні конструкції, оболонки кабелів і дротів і т. і.;

– електроустаткування, розміщене на рухомих частинах верстатів, машин, механізмів;

– залізобетонні і металеві опори повітряних ліній електропередачі напругою (3…35) кВ;

– у мережах з глухозаземленою нейтраллю заземлюється нейтраль

джерела струму і нульовий захисний провідник.

Розрахуємо кількість вертикальних заземлювачів для заземлення нейтралі трансформатора за наступних умов [30].

Вихідні дані:

– ґрунт - суглинок;

– вертикальні заземлювачі - труби завдовжки l = 5 м;

– діаметр труб d = 0,1 м;

– відстань між заземлювачами a = 5 м;

– ширина сполучної смуги b = 0,1 м;

– глибина заставляння смуги t = 0,7 м.

Горизонтальна смуга з´єднує верхні кінці вертикальних заземлювачів.

Нормативний опір розтіканню струму заземлення нейтралі трансформатора при лінійній напрузі 380 В, Ом

$$R_н = 4 \quad (3.1)$$

Питомий електричний опір ґрунту, Ом·м

$$\rho = 100 \quad (3.2)$$

Коефіцієнт сезонності для вертикального заземлювача

$$\psi_в = 1,3 \quad (3.3)$$

Розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикального заземлювача,

$$\rho_в = \psi_в \rho = 1,3 \cdot 100 = 130 \quad (3.4)$$

Опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача, Ом

$$R_o = (\rho_в/2\pi l) [\ln 2l/d + 0,5\ln(4t+3l)/(4t+l)], \quad (3.5)$$

$$R_o = (130/2 \cdot (3,14 \cdot 5)[\ln 2 \cdot 5/0,1 + 0,5\ln(4 \cdot 0,7+3 \cdot 5)/(4 \cdot 0,7+5)] = 20,8$$

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_o/R_н = 20,8/4 = 5,2 \quad (3.6)$$

Приймаємо n = 6.

Довжина сполучної смуги при розташуванні вертикальних заземлювачів у ряд, м

$$l_c = a(n-1) = 5(6-1) = 25 \quad (3.7)$$

Коефіцієнт сезонності для горизонтальної сполучної смуги при $1_c = 25$ м $\psi_c = 2{,}31$.

Розрахунковий опір ґрунту для сполучної смуги, Ом·м

$$\rho_c = \psi_c \rho = 2{,}31 \cdot 100 = 231 \quad (3.8)$$

Опір розтіканню струму сполучної смуги, Ом:

$$R_c = (\rho_c/2\pi l_c) \cdot \ln (2l_c^2/bt) = (231/2 \cdot 3{,}14 \cdot 25) \cdot \ln(2 \cdot 25^2/0{,}1 \cdot 0{,}7) = 14{,}4 \quad (3.9)$$

Коефіцієнти використання вертикальних заземлювачів і горизонтальної сполучної смуги:

$$\eta_в = 0{,}63; \qquad \eta_c = 0{,}71$$

Опір розтіканню струму сполучної смуги з врахуванням екранування, Ом:

$$R_г = R_c/\eta_c = 14{,}4/0{,}71 = 20{,}3 \quad (3.10)$$

Опір розтіканню струму групи вертикальних заземлювачів, Ом:

$$R_в = R_o/n\ \eta_в = 20{,}8/6 \cdot 0{,}63 = 5{,}5 \quad (3.11)$$

Опір розтіканню струму заземлювача в цілому, Ом:

$$R_з = R_в R_г/(R_в + R_г) = 5{,}5 \cdot 20{,}3/(5{,}5+20{,}3) = 4{,}3 \quad (3.12)$$

$$R_з > R_o.$$

Оскільки опір розтіканню струму заземлювача трохи перевищує нормативне, остаточно приймаємо число вертикальних заземлювачів – 7 [30].

3.3 Протипожежна безпека

За нормами технологічного проектування приміщення виробництва відповідно до [31] відносяться до категорії Д, оскільки в цих приміщеннях знаходяться речовини, що не згорають, в холодному стані.

Споруди систем водопостачання будуються з матеріалів, що не згорають.

Зважаючи на велику вологість в цих приміщеннях стіни роблять з цеглини або бетону, перекриття - із залізобетону, підлога - з бетону. По ступеню вогнестійкості всі споруди відносяться до другої групи.

Для забезпечення швидкої евакуації людей на випадок пожежі в будівлі очисних споруд передбачено два аварійні виходи, шириною 1,2 м. Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу - 20 м.

Для отримання і передачі інформації про пожежу в приміщеннях є кабельний оповіщувач. Для оберігання будівлі від прямих ударів блискавки, передбачено стрижньовий громовідвід перетином 100 мм^2.

Відповідальність, за дотримання необхідного протипожежного режиму і своєчасного виконання протипожежних заходів, покладена на начальника виробництва, ділянок. Розпорядженням по цеху призначаються особи, відповідальні за пожежну безпеку на місцях.

На підставі типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств розробляється і вивішується на видному місці цехова протипожежна інструкція, а також план евакуації персоналу на випадок виникнення пожежі.

Всі робітники під час вступу на роботу проходять інструктаж з пожежної безпеки. Крім того, перед початком роботи кожен працюючий інструктується, при проведенні ввідного інструктажу. Той, що потім працює повинен пройти первинний інструктаж на робочому місці, а потім кожного кварталу повторний інструктаж.

Забезпечення водою приміщень виробництва для гасіння пожежі проводиться за допомогою зовнішньої і внутрішньої систем водопостачання. зовнішня система повинна бути обладнана пожежними гідрантами, які повинні бути розташовані уподовж дороги на відстані не більше ніж 100 м один від одного. Всередині приміщення повинні бути обладнані пожежними кранами. Пожежні крани встановлюються в спеціальних шафах. У цих шафах повинен

знаходиться спеціальний рукав не менше 10 м із стовбуром.

Первинними засобами гасіння пожежі є комплект ручного протипожежного інвентарю: лопати, ломи, крюки, ящик з піском, бочки з водою, відра, вогнегасники, перезаряджені у встановлені терміни. Згідно [32], приміщення повинні бути обладнані вогнегасниками марки ВВК-2, ВВК-5 ВВК-8 - вуглекислотні, для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, ВП-5, ВП-10 - порошкові для гасіння твердих гарячих речовин. Протипожежний інвентар і вогнегасники розміщуються в легкодоступних місцях.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Проаналізовано потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі у промисловій лабораторії.
2. Розроблені заходи для зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, електробезпеки та пожежної безпеки в умовах промислової лабораторії.
3. Здійснено розрахунок захисного заземлення приміщення промислової лабораторії.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень одержані такі результати:

1. Проаналізовано технологічний процес виробництва коксу. Встановлено, що у більшості випадків не ведеться очищення газоподібних токсичних речовин, які містяться у відхідних газах, що робить актуальним вирішення цієї проблеми.

2. Виконано теоретичне обґрунтування доцільності використання процесу нейтралізації фенолу, що базується на впливі електромагнітних полів на токсичні речовини. Це дозволило довести перспективність використання даного процесу для очищення газу.

3. Встановлено, що з основних газових електророзрядів для знешкодження викидів фенолу найбільш прийнятним є стримерний розряд, тому що він дозволяє дестабілізувати, а, отже, знешкодити максимальну, у 4 рази більшу, кількість молекул газових викидів, у порівнянні з іншими газовими розрядами.

4. Проаналізовано дію шкідливих та небезпечних факторів, які мають місце при виробництві коксу. Запропоновано шляхи покращення умов праці для робітників, задіяних у коксохімічному виробництві.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ПрАТ «Запоріжкокс» : офіційний сайт. Запоріжжя : ПрАТ «Запоріжкокс».URL :https://www.zaporozhcoke.com/ (дата звернення 20.04.2025).

2. Коксохімічна промисловість. URL: https://ua.wikipedia.org/wiki/ Коксохімічна промисловість (дата звернення: 20.04.2025).

3. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Технічні засоби очищення газових викидів : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2005. 158 с.

4. Гребенюк О. Ф. Вловлювання хімічних продуктів коксування : навч. посіб. Ч. 1. Донецьк : Східний видавничий дім, 2002. 228 с.

5. Ратушняк Г. С. Теоретичні основи технології очищення газових викидів. Вінниця : ВДТУ, 2002. 96 с.

6. Северин Л. І. Захист атмосфери. Ч. 1 та 2. Вінниця : ВПІ, 1994. 177 с.

7. Денисенко Г. Ф. Охорона навколишнього середовища в чорній металургії. Київ : Техніка, 1990. 246 с.

8. Клименко Л. П. Техноекологія. Сімферополь : Таврія, 2000. 542 с.

9. Сандуляк А. В. Нове в техніці та технології фізичних методів очистки рідини та газів. Київ : Вища школа, 2019. 55 с.

10. Сігал І. Я. Захист повітряного басейну при спалюванні палива. Львів : Недра, 2017. 294 с.

11. Промислова екологія : навч. посіб. / С. О. Апостолюк, В. С. Джигирей, А. С. Апостолюк та ін. Київ : Знання , 2005. 474 с.

12. Основи екології та охорони навколишнього природного середовища / В. С. Джигирей та ін. Львів : Афіша , 2000. 272 с.

13. Власенко В. М. Каталітична очистка газів. Київ : Техніка, 1973. 200 с.

14. Каталітичне очищення газів : підруч. для студентів онлайн. URL: https://stud.com.ua › ekologiya (дата звернення: 04.04.2025).

15. Каталізатори для очищення технологічних газів та газів, що відходять.

ТОВ «НІАП-КАТАЛІЗАТОР» : веб-сайт. URL: http://niap-kt.ua/ua/production/katalizator- 6/133-katalizatory-alyumopalladievye-pk-3shn-apn-sh-i-apn (дата звернення: 28.04.2025).

16. Василенко І. А., Скиба М. І., Півоваров О. А., Воробьова В. І. Теоретичні основи охорони навколишнього середовища. Дніпро, 2017. 204 с.

17. Василець С. В., Василець К. С. Техніка високих напруг : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2018. 187 с.

18.Уловлювання фенолу з газів, що відходять. *Хімічна промисловість*. № 1, 1981. С. 57.

19.Абрамов Г. П., Гарбаускас Г. К.,Кержуліс В. І. Озонне знешкодження промислових відходів. Технологія та обладнання. *Проблеми охорони довкілля та шляхи їх вирішення* : матеріали Міжрегіонал. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 26-27 черв. 1991 р.). Запоріжжя, 1991. С. 68-70.

20. А. с. 1378900. Очищення фенол- і формальдегід-вмісних відхідних газів за допомогою активованого вугілля / Ф. Міллер, Ф. Вінкель. *Технологічні аспекти охорони навколишнього середовища*. РС/ВІНІТІ. № 10, 1983. С. 139.

21. Клеменс Дж. Сідней, Мідзуно Акіра, Фінней Райт С. Комбіноване очищення модельованого димового газу від SO_2 і NO_X та летючої золи шляхом використання пульсуючого стримерного коронного розряду. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 1989, V. 25, n. 1. P. 62-69.

22. Котлик С. Б., Третяк П. П., Коянов О. І., Ляпкін О. А. Знешкодження аспіраційних і вентиляційних газів виробництва фенолформальдегідних смол. *Хімія та застосування фенолформальдегідних смол* : тези доп. Респ. наук. конф. (м. Таллінн, 26-28 трав. 1987 р.). Таллінн, 1987. С. 155-156.

23. Знаменський Ю. Д., Грибкова Г.Д., Фунтикова О. П. Лужне очищення пароповітряних сумішей зі зниженою концентрацією фенолу. *Промислове та санітарне очищення газів.* 1984. № 21. С. 15-16.

24. Кагарава Г. Г., Мядін А. І., Двалі Т. М. Очищення повітря від фенолу і

формальдегіду. *Безпека праці в промисловості*. 1992. № 7. С. 13-14.

25. Пуатуллін Р. С., Пермятіна В. Т., Зенова В. Н. Підбір каталізатора для очищення відхідних газів виробництва дифенілопропану. *Промислове та санітарне очищення газів.* 1981. № 5. С. 16-17.

26. Про затвердження правил безпеки в коксохімічному виробництві : Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 10 черв. 2008 р. №135. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0575-08#Text (дата звернення: 12.05.2025).

27. Про затвердження правил будови електроустановок : Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 21 черв. 2001 р. № 272. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text (дата звернення: 14.05.2025).

28. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : Постанова МОЗ України від 1 груд. 1999 р. № 42. URL : https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va (дата звернення: 03.05.2025).

29. Жидецький В. Ц. Охорона праці. Львів : Афіша, 2002. 320 с.

30. Геврик Є. О., Охорона праці : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Київ : Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

31. Про затвердження «ДБНВ.1.1-7:2016 Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги» : Наказ Мінрегіону України від 31 жовт. 2016 р. №287. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0287858-16#Text (дата звернення: 19.05.2025).

32. Щербина Я. Я., Щербина І. Я. Основи протипожежного захисту. Київ : Вища школа, 1985. 255 с.