

РОЗДІЛ 10

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТЕРМОКАТАЛІТИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА У КОНТЕКСТІ ВИКЛИКІВ ТА ЗМІН

(к. т. н., доц. Румянцев В. Р., к. фарм. н., доц. Шаранова Т. А., здобувач PhD
Савінов В. П., завідувач навчальних лабораторій ІННІ ЗНУ Сайкова Т. Ю.)

- 10.1 Аналіз використання каталізаторів для очищення вентиляційних газів
- 10.2 Основні характеристики обраних каталізаторів
- 10.3 Результати промислового впровадження обраних каталізаторів
- 10.4 Дослідження залежності ефективності очищення від зміни температурного режиму
- 10.5 Дослідження залежності ефективності очищення від зміни швидкості проходження газу

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

10.1 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ КАТАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ

Наразі, система каталітичного очищення вентиляційних газів запроєктована та реалізована для окремих приміщень та ємностей цехів *смолопереробки кам'яновугільної смоли та уловлення хімічних продуктів коксування* ПАТ «Запоріжжкокс» [7].

Наведені цехи мають наступний структурний поділ:

- Цех *смолопереробки кам'яновугільної смоли*.
- Відділення дистиляції.
- Відділення кристалізації.
- Пристрої для грануляції піку і отримання електродного піку.
- Склади і вантажні пристрої для зберігання і завантаження кристалічних продуктів, смоли і різних видів піку, а також масла і фенолів.
- Відділення біохімічної очистки стічних вод.
- Цех *уловлення хімічних продуктів коксування*.
- Відділення конденсації.
- Машинне відділення.
- Сульфатне відділення.
- Аміачне відділення.
- Бензольне відділення.

Були встановлені 4 комплекси каталітичного знешкодження (реактори) КР1-ЗУ-01 для наступних підрозділів: для *цеху смолопереробки кам'яновугільної смоли (ЦСПКС)* – відділення дистиляції смоли,клади

смоли, склади мастил (3 комплекси); для *цеху уловлення хімічних продуктів коксування (ЦУХПК)* – відділення дистиляції бензолу (1 комплекс). Кожен комплекс (установка) складається з двох апаратів, що під'єднані паралельно, та вентилятору. Другий апарат виконує функції резервного. Підрозділом для дослідження було обрано склади для зберігання кам'яновугільної смоли. Вентиляційні гази від дихання ємностей, що надходять з даного підрозділу, мають наступний вміст токсичних речовин (табл. 10.1) [8]:

Таблиця 10.1 – Вміст забруднюючих речовин у вентиляційних газах складів зберігання кам'яновугільної смоли [5]

Забруднююча речовина	Вміст в газовій суміші, мг/м ³	ГДВ зі стаціонарних джерел, мг/м ³	Клас небезпеки
Фенол	1,8	20	I
Нафталін	86,8	20	I
Бенз(а)пірен	1,82	0,1	I
Аміак	112	–	–
Сірководень	12,1	5	II
Ціанистий водень	7,3	5	II
Бензол	177,5	5	III

На першому етапі дослідження здійснено порівняння каталізаторів, які можуть бути використані для знешкодження вищенаведених забруднювачів.

Були обрані наступні екземпляри:

- Інтерметалідний каталізатор ПК-3-Ш (Al_2O_3-Pd) (рис. 10.1) [6].
- Шлаковий мідно-кобальтовий каталізатор [3].
- ГТТ ($Mn-Cu-Ni$) (рис. 10.2) [6].
- Гопталом ($Mn-Cu$) (рис. 10.3) [3].



Рисунок 10.1 – Інтерметалідний паладієвий каталізатор ПК-3-Ш



Рисунок 10.2 – Каталізатор серії ГТТ



Рисунок 10.3 – Каталізатор Гопталюм

10.2 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ

Характеристики каталізаторів наведені в таблицях нижче (табл. 10.2, 10.3, 10.4, 10.5) [6].

Таблиця 10.2 – Характеристика каталізаторів, що досліджуються

Показник		Значення показнику
Інтерметалідний каталізатор ПК-3-Ш		
Носій каталізатору		Оксид алюмінію
Зовнішній вигляд		Гранули сферичної форми
Діаметр гранул, мм		3,5–6,0
Насипна щільність, г/см ³		0,6–0,8
Механічна міцність на	Стирання, % пилу за хв.	≤ 0,3
	Стискання, МПа	≥ 4,5
Масова доля паладію, %		≥ 0,095

Таблиця 10.3 – Характеристика шлакового мідно-кобальтового катализатору [3]

Шлаковий мідно-кобальтовий катализатор		
Носій катализатору		Рядовий конвертерний шлак підприємства
Зовнішній вигляд		Частки неправильної форми, сірі або чорні, матові
Розмір часток, мм		3–5
Насипна щільність, г/см ³		1,7–1,9
Механічна міцність на стискання однієї частки		≥ 30
Масова доля, %	Кобальт	≥ 3,4
	Мідь	≥ 2,6
Каталітична активність, %		≥ 98

Таблиця 10.4 – Характеристика катализатору Гопталюм [6]

Гопталюм (Mn-Cu)		
Зовнішній вигляд		Таблетки циліндричної форми
Хімічний склад, %	Mn ₃ O ₄	30–40
	CuO	20–30
	NiO	–
	Талюм	40
Розміри, мм	Діаметр	4 ± 0,5
	Довжина	7,5 ± 2,5
Насипна щільність, г/см ³		1,25
Механічна міцність, МПа		34,32

Таблиця 10.5 – Характеристика катализатору ГТТ [3]

ГТТ (Mn-Cu-Ni)		
Зовнішній вигляд		Таблетки циліндричної форми
Розміри, мм	Діаметр	6,0 ± 0,5
	Довжина	3,5 ± 1,0
Хімічний склад, %	Mn ₃ O ₄	33,3
	CuO	16,7
	NiO	10
	Талюм	40
Насипна щільність, г/см ³		1,4
Механічна міцність, МПа		30

10.3 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОМИСЛОВОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ОБРАНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ

Був проведений відбірний іспит вищенаведених каталізаторів в умовах реактору КР1-ЗУ-01. Завданням визначено знешкодження постійних компонентів вентиляційних викидів – бензолу, нафталіну та сірководню за умов базового технологічного процесу при температурі 80°C та витраті газу (об'ємній швидкості) 2000 м³/год. Результати для кожного з каталізаторів наведені в графіках (рис. 10.4; 10.5; 10.6; 10.7). Кінцеві результати першого етапу дослідження зведено в таблицю 10.6.



Рисунок 10.4 – Результати відбірного тесту каталізатору ПК-3-Ш

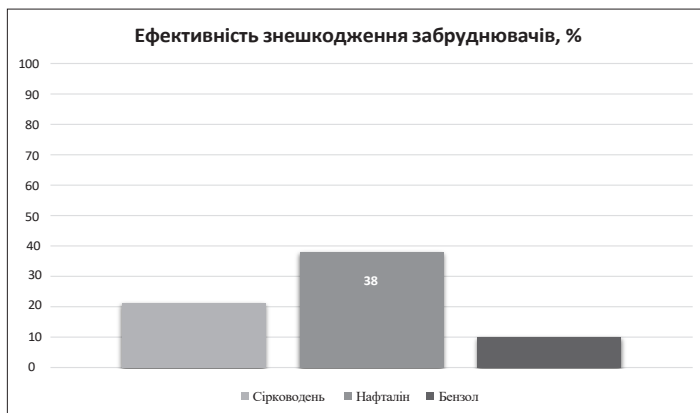


Рисунок 10.5 – Результати відбірного тесту шлакового мідно-нікельового каталізатору

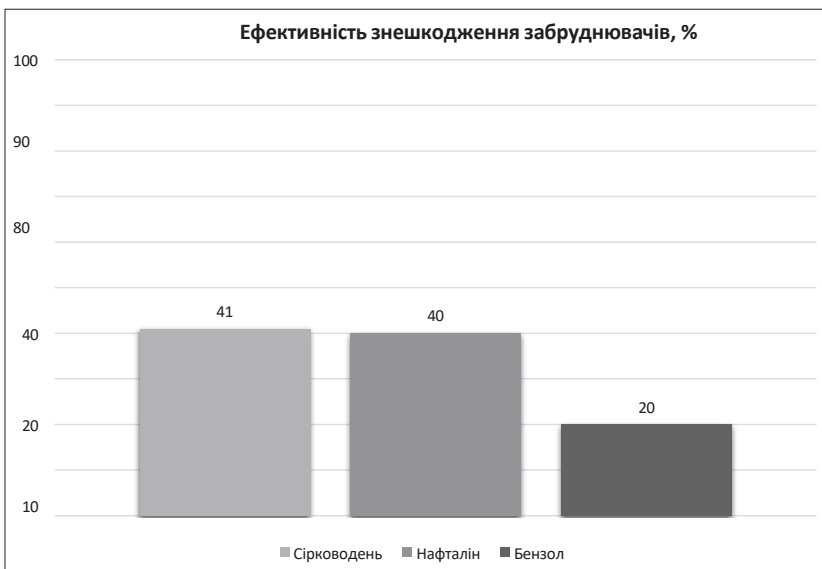


Рисунок 10.6 – Результати відбірного тесту каталізатору Гопталюм

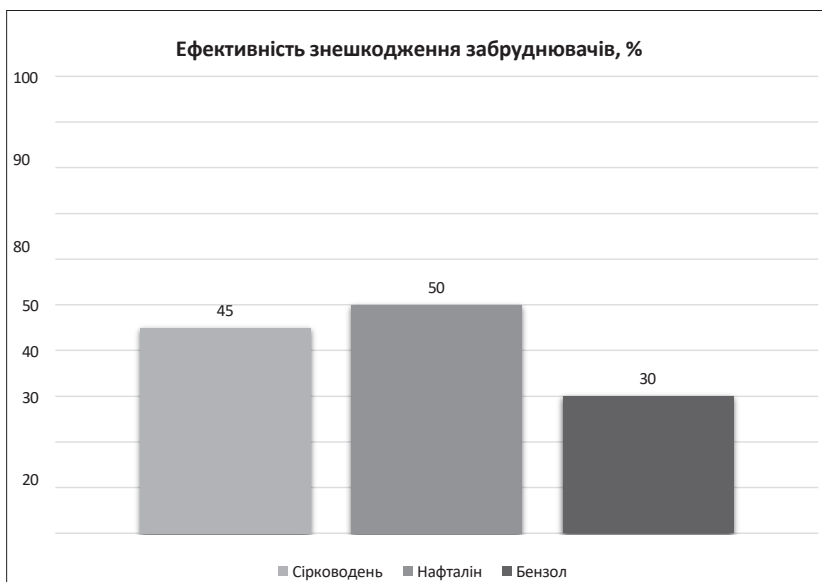


Рисунок 10.7 – Результати відбірного тесту каталізатору ГТТ

Таблиця 10.6 – Зведені результати першого етапу дослідження

Каталізатор, що досліджується	Токсичні компоненти	Ефективність знешкодження, %
ПК-3-Ш (Al_2O_3 -Pd)	Сірководень	65
	Нафталін	63
	Бензол	49
Шлаковий каталізатор (Cu-Co)	Сірководень	21
	Нафталін	38
	Бензол	10
Гопталюм (Mn-Cu)	Сірководень	41
	Нафталін	40
	Бензол	20
ГТТ (Mn-Cu-Ni)	Сірководень	45
	Нафталін	50
	Бензол	30

За результатами відбірного тестування найбільшу ефективність знешкодження токсичних сполук при заданих умовах продемонстрував каталізатор ПК-3-Ш. Використання даного каталізатору, окрім дотримання норм ГДВ, дозволить підприємству економити на екологічних податках.

Виходячи з недостатнього ступеню очищення ключових забруднюючих речовин при заданій температурі та витраті газу, був проведений другий етап дослідження для каталізатору, що показав себе найкраще (ПК-3-Ш).

Завданням другого етапу є встановлення для обраного каталізатору оптимальних параметрів роботи – досягнення найбільш виправданих значень температури та витрати газу всередині реактору при задовільному рівні знешкодження токсичних сполук.

З цією метою були проведені відповідні випробування при змінних параметрах температури та витрати газу.

10.4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ

Для випробування каталізатору при різних температурних умовах, були обрані наступні параметри технологічного процесу:

- $T_1 = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_2 = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_3 = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_4 = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_5 = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{max}} = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $Q = \text{const} = 2000\text{ м}^3/\text{год.}$
- $P = \text{const} = 1000\text{ Па}$

де $T_1 \dots T_5$ – температурні параметри газу;

T_{max} – максимальна допустима температура для даного типу реакторів;

Q – витрата газу в реакторі;

P – вакууметричний тиск в системі.

В ході дослідів були побудовані діаграми (рис. 10.8; 10.9; 10.10), що демонструють ефективність очищення токсичних сполук при вище наведених параметрах технологічного процесу.

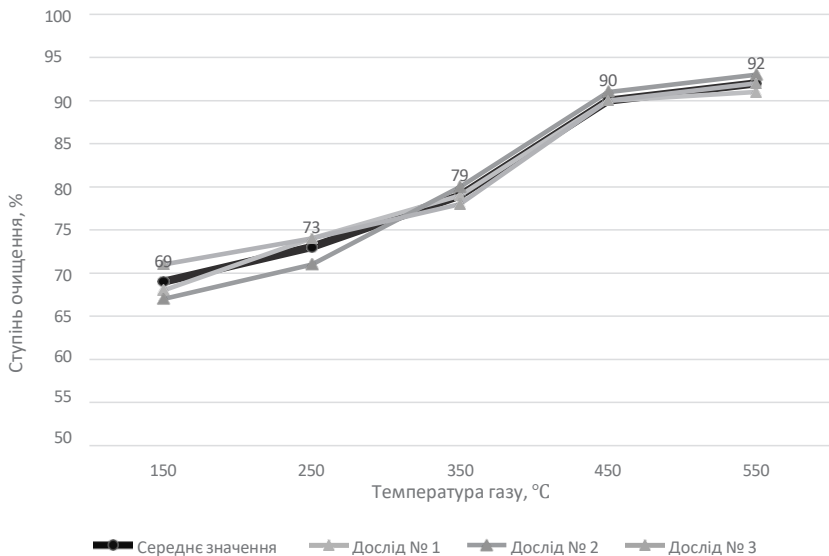


Рисунок 10.8 – Ефективність очищення сірководню

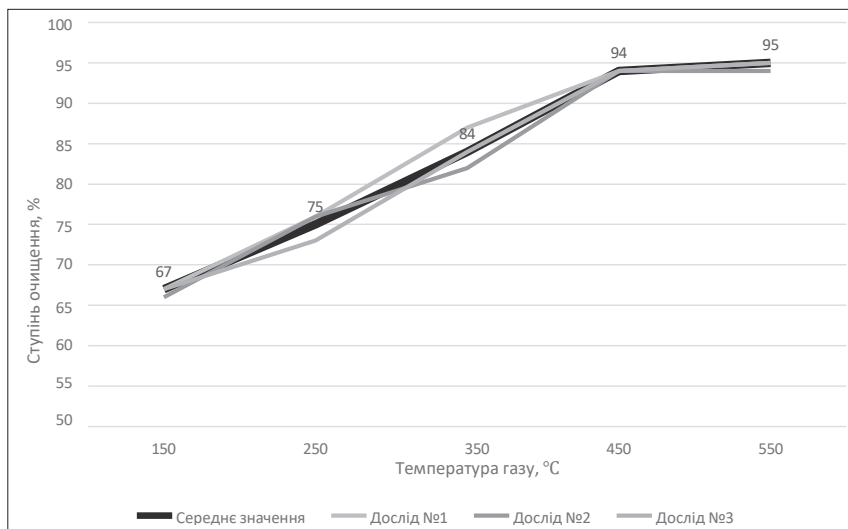


Рисунок 10.9 – Ефективність очищення нафталіну

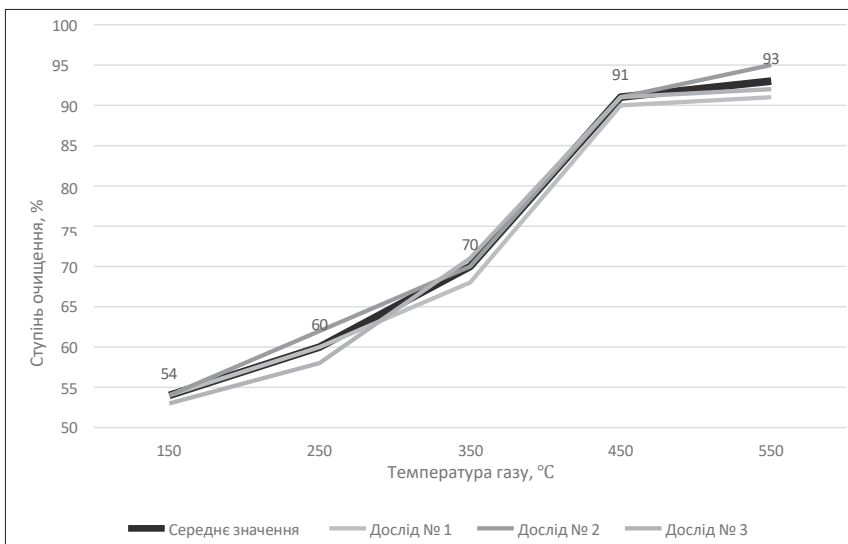


Рисунок 10.10 – Ефективність очищення бензолу

Результати дослідів наведені у таблиці 10.7.

Таблиця 10.7 – Результати експерименту зі змінним параметром температури

Компонент газової суміші		Ефективність очищення при температурних параметрах, %				
		150 °C	250 °C	350 °C	450 °C	550 °C
Сірководень	Дослід № 1	68	74	79	90	91
	Дослід № 2	67	71	80	91	93
	Дослід № 3	71	74	78	90	92
	Середнє значення	69	73	79	90	92
Нафталін	Дослід № 1	67	76	87	94	95
	Дослід № 2	66	76	82	94	94
	Дослід № 3	67	73	84	94	95
	Середнє значення	67	75	84	94	95
Бензол	Дослід № 1	54	60	68	90	91
	Дослід № 2	54	62	70	91	95
	Дослід № 3	53	58	71	91	92
	Середнє значення	54	60	70	91	93

На основі результатів дослідів побудований кінцевий графік залежності ступеню знешкодження шкідливих компонентів від температури вентиляційного газу (рис. 10.11).

Аналізуючи результати випробування, приймаємо температуру технологічного процесу T_4 (450 °C) як найбільш оптимальну. Відповідна цій температурі ступінь очищення 4-х компонентів газової суміші є задовільною.

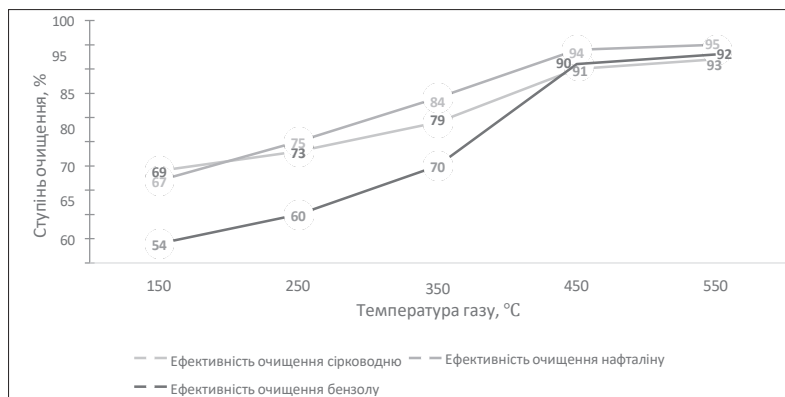


Рисунок 10.11 – Усереднена залежність знешкодження шкідливих компонентів від температури вентиляційного газу

10.5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ПРОХОДЖЕННЯ ГАЗУ

Для випробування у змінних умовах швидкості проходження газу (в еквіваленті витрати газу) були обрані наступні технологічні параметри досліді:

- $Q_1 = 500$ м³/год.
- $Q_2 = 1\,000$ м³/год.
- $Q_3 = 2\,000$ м³/год.
- $Q_4 = 5\,000$ м³/год.
- $Q_5 = 10\,000$ м³/год.
- $T = \text{const} = 450^\circ\text{C}$
- $P = \text{const} = 1000$ Па

де $Q_1 \dots Q_5$ – параметри витрати газу; T оптимальна температура газу;
 P – вакууметричний тиск в системі.

Під час досліді були побудовані діаграми (рис. 10.12; 10.13; 10.14), що демонструють ефективність очищення токсичних сполук при вище наведених параметрах технологічного процесу.

Результати досліді зведені в таблицю 10.8.

На основі результатів досліді побудований кінцевий графік залежності ступеню знешкодження шкідливих компонентів від витрати вентиляційного газу (рис. 10.15).

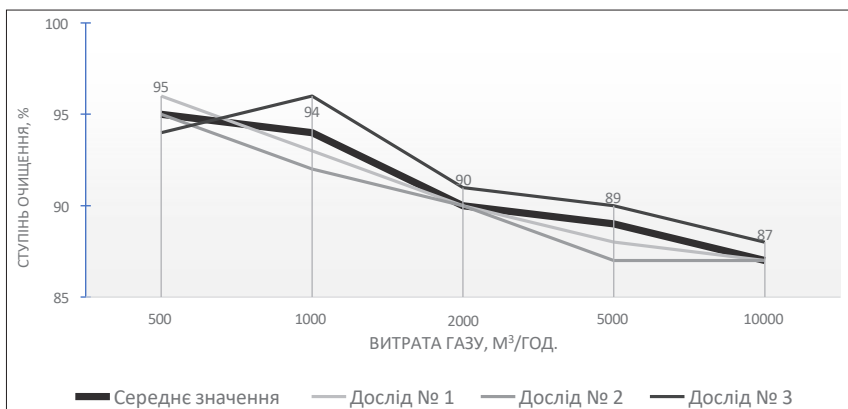


Рисунок 10.12 – Ефективність очищення сірководню

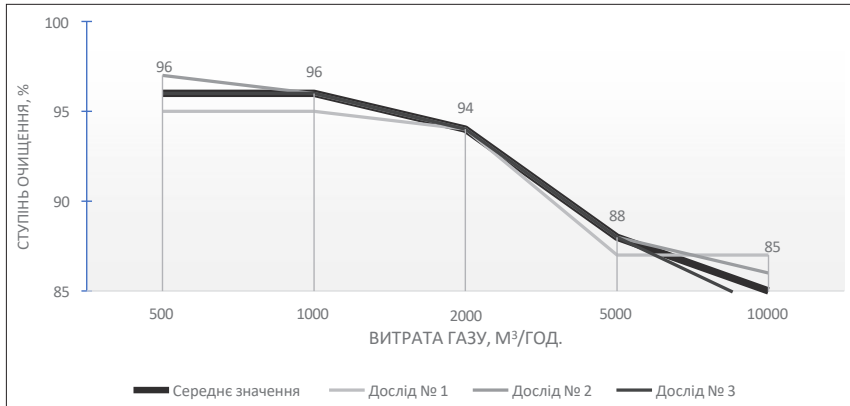


Рисунок 10.13 – Ефективність очищення нафталіну

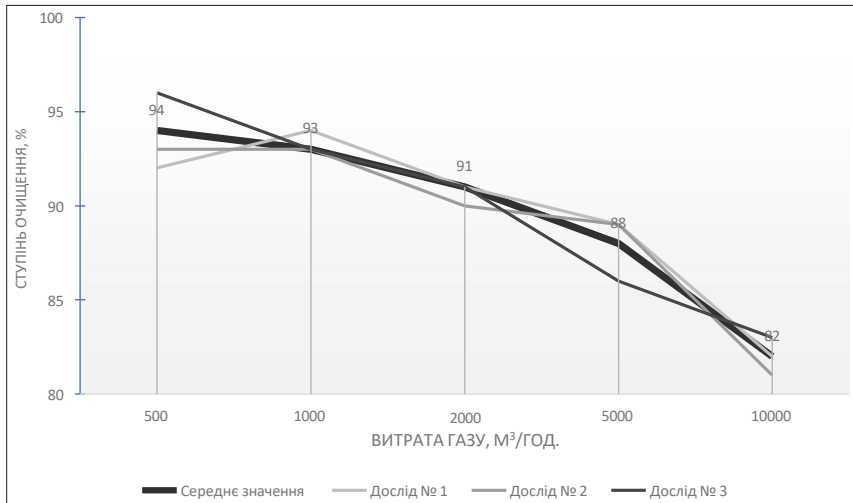


Рисунок 10.14 – Ефективність очищення бензолу

Таблиця 10.8 – Результати експерименту зі змінним параметром витрати газу

Компонент газової суміші		Ефективність очищення при визначеній витраті газу, %				
		500 м ³ /год.	1000 м ³ /год.	2000 м ³ /год.	5000 м ³ /год.	10 000 м ³ /год.
Сірководень	Дослід № 1	96	93	90	88	87
	Дослід № 2	95	92	90	87	87
	Дослід № 3	94	96	91	90	88
	Середнє значення	95	94	90	89	87
Нафталін	Дослід № 1	96	95	94	87	87
	Дослід № 2	97	96	94	88	86
	Дослід № 3	96	96	94	88	84
	Середнє значення	96	96	94	88	85
Бензол	Дослід № 1	92	94	91	89	82
	Дослід № 2	93	93	90	89	81
	Дослід № 3	96	93	91	86	83
	Середнє значення	94	93	91	88	82

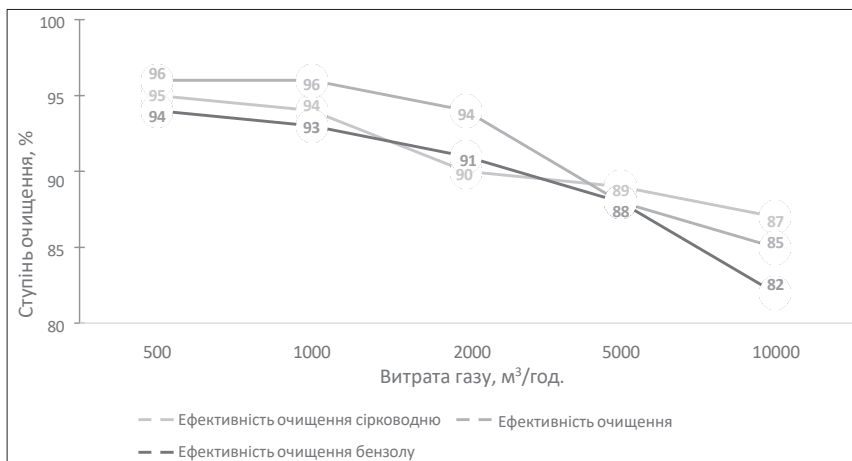


Рисунок 10.15 – Усереднена залежність знешкодження шкідливих компонентів від витрати вентиляційного газу

Проаналізувавши результати дослідів, в якості оптимального параметру витрати газу було обрано найбільше значення, що забезпечує достатню ефективність очищення від токсичних компонентів – Q_2 (1000 м³/год.).

При оптимальних параметрах, загальна ступінь очищення буде дорівнювати [1]:

$$\eta = \frac{C_{H_2S} * \eta_{H_2S} + C_{C_{10}H_8} * \eta_{C_{10}H_8} + C_{C_6H_6} * \eta_{C_6H_6}}{C_{\text{заг.}} * 1} * 100, \quad (10.1)$$

де C_i – концентрація i -го компонента в газовій суміші, мг/м³;

η_i – ступінь очищення i -го компонента газової суміші;

$C_{\text{заг.}}$ – загальний вміст забруднювачів, що досліджуються, мг/м³.

$$\eta = \frac{12,1 \cdot 0,94 + 86,8 \cdot 0,96 + 177,5 \cdot 0,93}{276,4 \cdot 1} \cdot 100 = 93,98\%. \quad (10.2)$$

ВИСНОВКИ

1. Здійснено порівняння каталізаторів, що можуть бути використані для знешкодження вентиляційних викидів складу смолопереробного цеху. Встановлено, що оптимальним є варіант каталізатору ПК-3-Ш (Al-Pd) з екологічної та економічної точок зору.

2. Досліджено залежність ефективності очищення вентиляційних газів від температури та витрати вхідних газів. Встановлено оптимальні значення відповідних параметрів.

3. Проведено апробацію встановлених оптимальних параметрів технологічного процесу очищення вентиляційних газів в установках каталітичного допалення в промислових умовах.

4. Проведено планування експерименту з побудовою матриці експерименту та отримано рівняння регресії для компонента газової суміші, що має найбільшу токсичну масу (нафталін)

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гребенюк О. Ф. Вловлювання хімічних продуктів коксування : навчальний посібник. Ч. 1. / О. Ф. Гребенюк та ін. Донецьк : Східний видавничий дім, 2002. 228 с.
2. Северин Л. І. Захист атмосфери. Ч. 1 та 2. Вінниця : ВПІ, 1994. 177 с.
3. Власенко В. М. Каталітична очистка газів. Київ : Техніка, 2003. 200 с.

4. Денисенко Г. Ф. Охрана окружающей среды в черной металлургии. Киев : Техника, 1990. 246 с.

5. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел : наказ Міністерства охорони навколишнього середовища від 27 червня 2006 р. № 309. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06#Text> (дата звернення: 11.05.2024).

6. Каталізатори для очищення технологічних газів. ТОВ «НІАП-КАТАЛІЗАТОР». URL: <http://niapt.ua/ua/production/katalizator-6/131-katalizatory-razlozheniyaazonagttgiknk> (дата звернення: 03.05.2024).

7. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : постанова МОЗ України від 1 грудня 1999 р. № 42. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (дата звернення: 03.05.2024).

8. Про затвердження правил безпеки в коксохімічному виробництві : наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 10 червня 2008 р. № 135. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0575-08#Text> (дата звернення: 31.05.2024).