

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Пояснювальна записка

до дипломного
проекту бакалавра

на тему : **Дослідження способів зменшення СО при
спалюванні твердих паливних сумішей**

Виконав: студент
4 курсу, групи
401-НТ
спеціальності

144 Теплоенергетика

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Нестеренко Б.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кутний Б.А.

(прізвище та ініціали)

Допустити до захисту:

завідувач кафедри "Теплогазопостачання,
вентиляції та теплоенергетики" _____

к.т.н., проф. Голік Ю.С.

" _____ " _____ 2025 р.

Полтава - 2025

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення навчально-науковий інститут нафти і газу

Кафедра, циклова комісія кафедра теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри, голова циклової
комісії Голік Ю.С.**

_____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Нестеренко Богдан Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження способів зменшення СО при спалюванні твердих паливних сумішей.

керівник проекту (роботи) Кутний Богдан Андрійович д.т.н,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу №156 фа від " " _____ року _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.06.2025р

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Паспортні данні котла EURO THERM, паспортні данні термофена PROCRAFT PH2300H, паспортні данні газоаналізатора УГ-2, папортні данні ДОЗОР С-М-3.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вплив та шкідливість СО, розрахунок витрат повітря термофену, експериментальні дослідження з використанням газоаналізатора УГ-2, перевірка індикаторів, дослідження з використанням газоаналізатора ДОЗОР С-М-3, графіки зміни СО, NO₂, SO₂. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Розробка деталі кріплення до піддувала котлоагрегату, Фото дослідної установки котлоагрегату з термофенами, Схема уустановки для відбору концентрованого СО, Схема установки для відбору

концентрованого СО, Зміна кольору індикаторів, Результати отримані за допомогою газоаналізатора ДОЗО С-М-3, Заміри за допомогою газоаналізаторів УГ-2 та ДОЗОР С-М-3.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 2.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Розробка деталі кріплення термофенів до котлоагрегату.	01.05.2025	
2.	Початок першого експерименту з використанням газоаналізатора УГ-2	11.05.2025	
3.	Перевірка індикаторів за допомогою концентрованого СО	20.05.2025	
4.	Початок експериментів з використанням газоаналізатора ДОЗОР С-М-3	24.05.2025	
5.	Перерахунок замірів які були отримані	10.06.2025	
6	Висновки	14.06.2025	
7	Перевірка роботи на плагіат	20.06.25	

Студент _____
(підпис)

Нестеренко Б.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Кутний Б.А.
(прізвище та ініціали)

Вступ	3
1. Технічні характеристики газоаналізатора УГ – 2	5
2. Підготовка до експериментальних досліджень.....	9
Витрати повітря у фені 2.1.....	10
3. Виконання експериментальних досліджень	10
Дослід 3.1.....	10
Дослід 3.2.....	20
Дослід 3.3.....	25
4. Повна перевірка індикаторів	28
Дослід 4.1.....	29
Дослід 4.2.....	31
Висновок	36
5. Технічні характеристики Дозор-С-М-3	37
Досліди з використанням газоаналізатора Дозор-С-М-3.....	43
Дослід 5.1.....	46
Дослід 5.2.....	52
Висновок	79
Література.....	81

401- НТ - 9476030

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Нестеренко,			Літ.	Арк.	Акрюшіє
Перевір.		Кутний Б.А.					
Затвердив		Голік Ю.С.			НУПП 401-НТ		
Т.							
Н. Контр.							

**Дослідження способів
зменшення концентрації
СО при спалюванні твердих
паливних сумішей**

- Неправильно працюючі системи опалення.
- Пристрої для спалювання палива без належної вентиляції (наприклад, газові обігрівачі, вугільні грилі, кемпінгові печі, бензогенератори).
- Автомобілі, що працюють у поганих умовах вентиляції (наприклад, у спортзалах, складах або гаражах з заблокованими снігом вихлопними трубами).
- Вплив вихлопних газів моторного човна на відкритому повітрі.
- Використання кальяну.
- Метиленхлорид (дихлорметан), промисловий розчинник і компонент засобів для видалення фарби, метаболізується в печінці до СО і може викликати отруєння без прямого впливу чадного газу. У 2012 році Європейський Союз заборонив засоби для видалення фарби, що містять метиленхлорид, проте він може бути присутнім у деяких промислових продуктах.

Способи зменшення викидів СО

1 Повне згорання палива

- Забезпечення надлишку кисню тобто якщо ми подамо більше повітря вона дозволить повністю окиснити наш СО до СО₂.
- Контроль температури згорання палива через занадто низьку температуру через це утворює СО. Тобто потрібно підтримувати достатню температуру для повного окиснення.

2 Покращення конструкцій пальників та печей

- Рекуперация тепла, а саме підвищення температури повітря що буде сприяти кращому згоранню.

3 Каталітичне допалювання

- А саме використання каталізаторів наприклад паладію що буде сприяти окисненню СО при нижчих температурах.

					401- НТ -94 76030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Але для даних дослідів нам потрібно було заповнювати трубки самостійно.



Фото 1. Заповнені індикаторні трубки



Фото 2. Заповнені трубки з абсорбером

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2. Підготовка до експериментальних досліджень

Для даного проекту ми будемо використовувати котел (EUROTHERM) газоаналізатор уг-2, та два будівельних фена (ProCraft PH2300E). Також застосована вирізана деталь із металу, яка фіксує 2 фена біля піддувала.

Перед початком досліду нами визначена швидкість повітря на виході з фену. Для цього нами проведено 2 заміра на першій швидкості та на другій.

Швидкість повітряного потоку з термофена

Табл.1.

Швидкість	по центру	з краю
1	1,6 км/год	1,1км/год
2	5,1км/год	3,3км/год

Визначаємо площу:

$$F_1 = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (1.1)$$

$$F_2 = \frac{\pi \times d^2}{4} - f_1 \quad (1.2)$$

$$F_1 = \frac{\pi \times 46^2}{4} = 1661 \text{ мм}^2$$

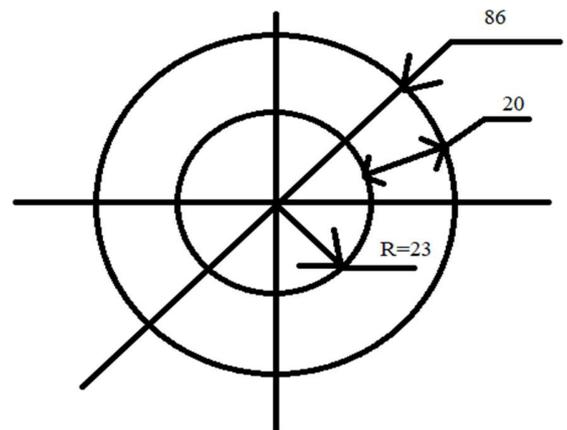


Рис.3 визначення площі

									401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						9

$$F_2 = \frac{\pi \times 86^2}{4} - 1661 = 4145 \text{ мм}^2$$

Визначаємо середню швидкість повітря за формулою

$$V_{\text{ср}} = \frac{f_1 \times V_1 + f_2 \times V_2}{f_1 + f_2} \quad (1.3)$$

Підставляємо у формулу наші значення для визначення 2 швидкості

$$V_{2\text{шв}} = \frac{1661 \times 5,1 + 414 \times 3,3}{1661 + 4145} = 3,8 \text{ км/год}$$

Підставляємо у формулу наші значення для визначення 1 швидкості

$$V_{1\text{шв}} = \frac{1661 \times 1,6 + 414 \times 1,1}{1661 + 4145} = 1,2 \text{ км/год}$$

Витрати повітря у фені 2.1

Для визначення витрат повітря застосовано формулу

$$Q = F \times V \quad (1.4)$$

$$Q = V_2 \times F_2 = 3,8 \times 0,004145 \times 1000 = 15,7 \text{ м}^3/\text{год}$$

3. Виконання експериментальних досліджень

Перед проведенням першого досліду нам потрібно було розпалити котел в якості палива ми використовували картон. При цьому ми повинні тримати температурний режим у димових газів від 100-200°С.

Дослід 3.1.

Перший замір

Температура димових газів 100°С, робимо замір на 200мл. Змін у кольорі трубки не відбулося.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Другий замір

Було прийняте рішення, зробити замір ще на 400мл, температура димових газів 176°С.

Сумарний пропуск через вимірювальну трубку 600мл.

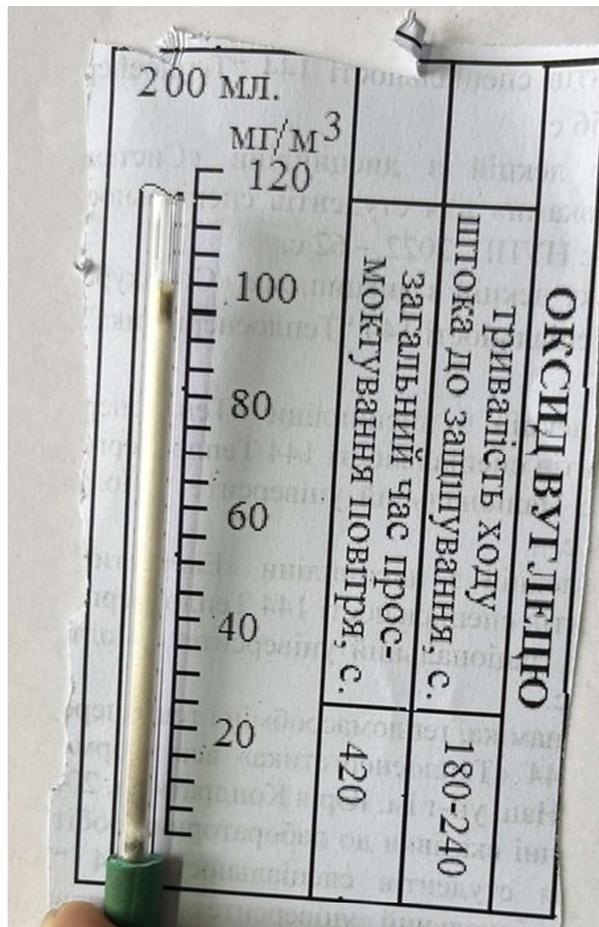


Фото 1.1 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 600мл димових газів.

На цьому зображенні спостерігається невелике потемніння індикатора на рівні 10 мг/м³.

									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

Третій замір

Робимо замір на 300мл, температура димових газів 120°С. При цьому ми залишаємо туж саму трубку. Сумарний пропуск через наш індикатор 900мл.

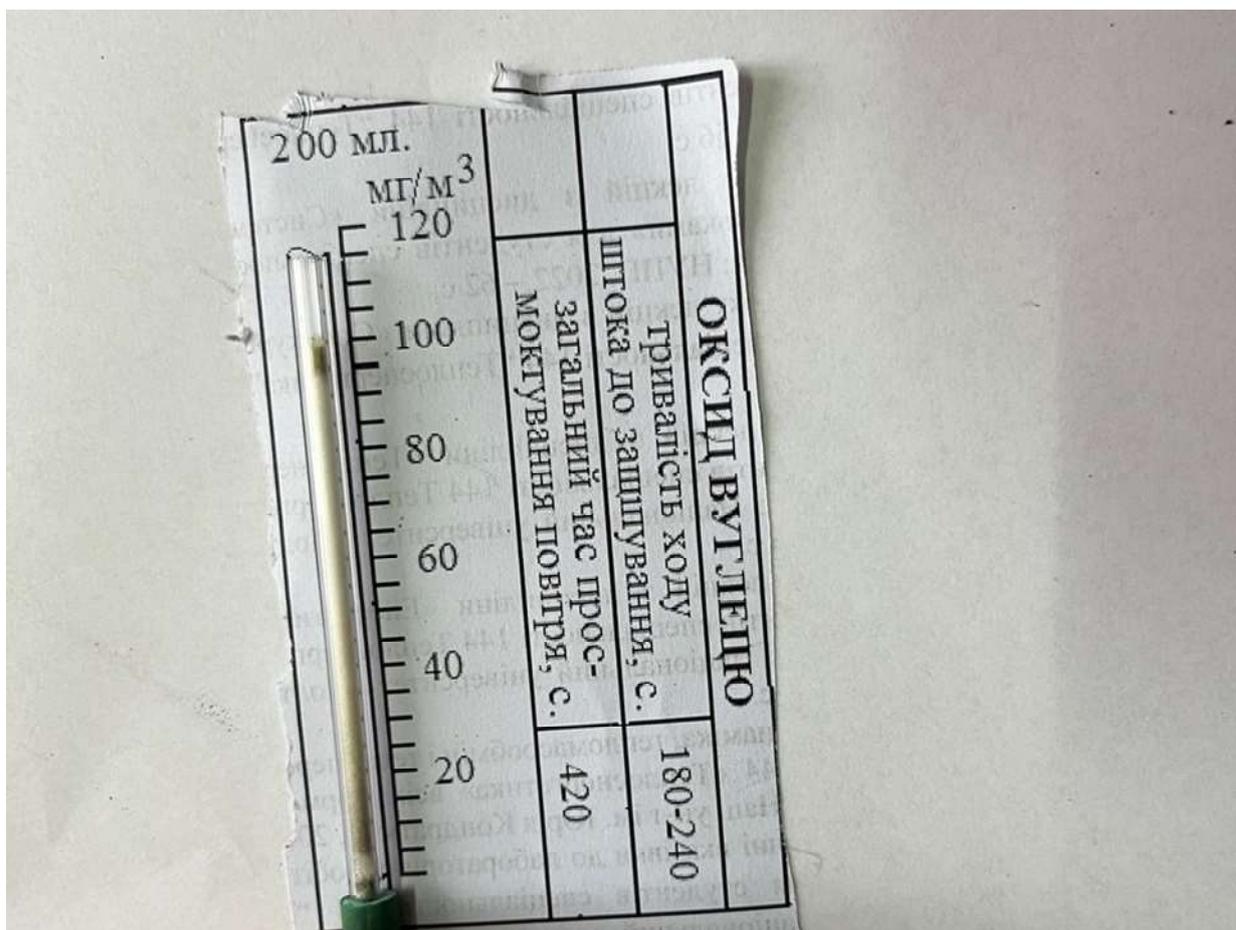


Фото 1.2 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 900мл димових газів.

На цьому зображенні ми спостерігаємо невелике потемніння індикатора на рівні 20 мг/м³.

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

П'ятий замір

Робимо замір ще на 300мл, температура димових газів 200° С. Сумарний пропуск через наш індикатор 1500мл.



Фото 1.4 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 1500мл димових газів.

На цьому фото бачимо, що затемнення збільшилося та наша концентрація CO збільшилася до 30 мг/м³.

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

Сьомий замір

Робимо замір ще на 300мл, температура димових газів 147°С. Сумарний пропуск через наш індикатор 2100мл.

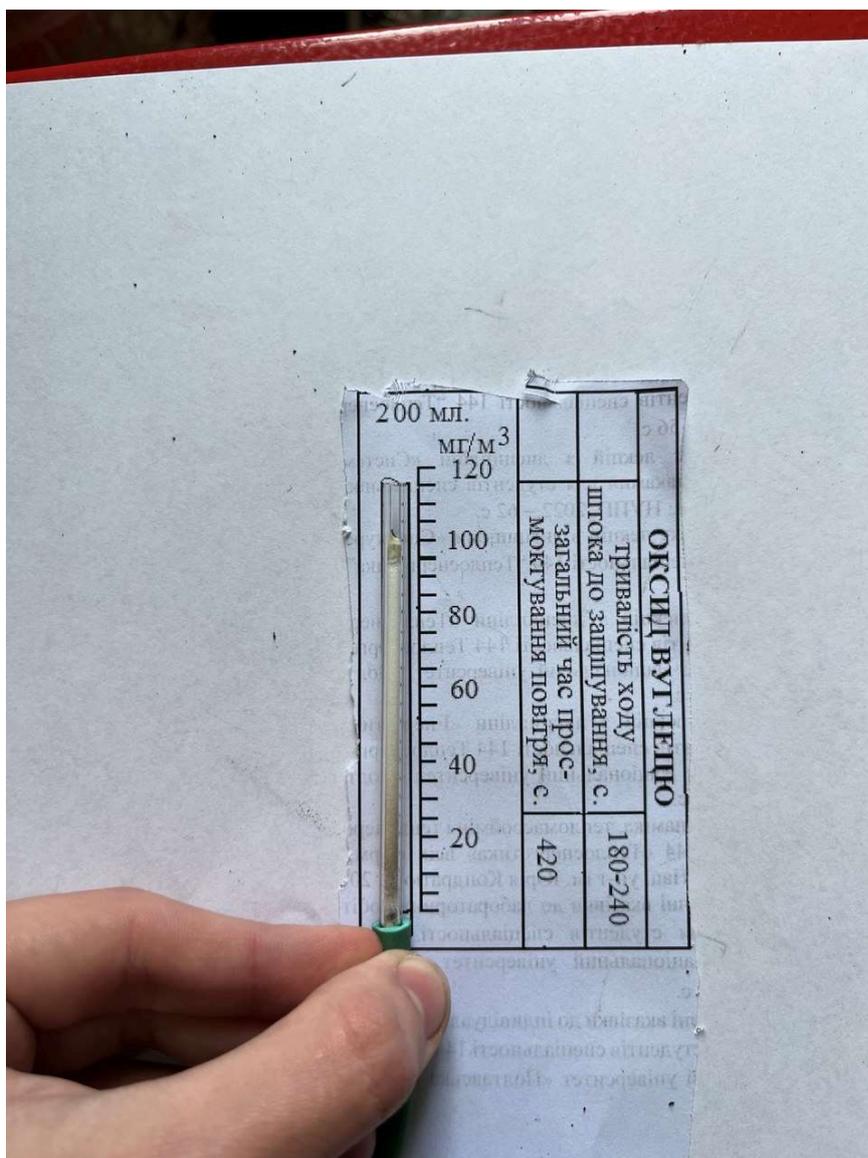


Фото 1.7 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 2100мл димових газів.

На цьому зображенні ми спостерігаємо невелике потемніння індикатора на рівні 35мг/м³.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Восьмий замір

Робимо замір ще на 300мл, температура димових газів 105°С. Сумарний пропуск через наш індикатор 2400мл.

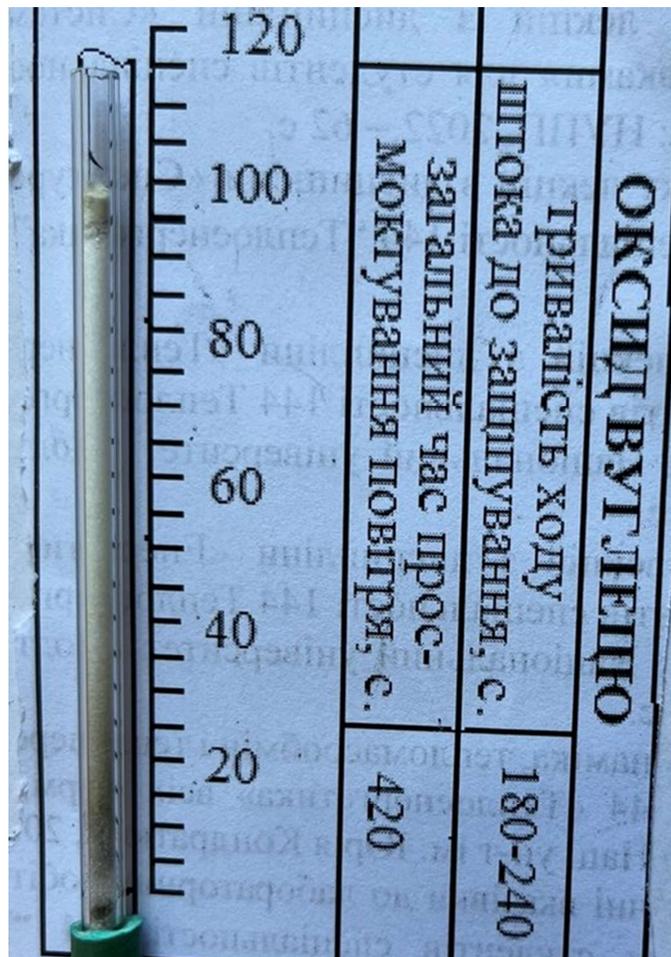


Фото 1.8 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 2400мл димових газів.

На цьому зображенні ми спостерігаємо невелике потемніння індикатора на рівні 35мг/м³.

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

Дев'ятий замір

Робимо замір ще на 300мл, температура димових газів 127°С. Сумарний пропуск через наш індикатор 2700мл.

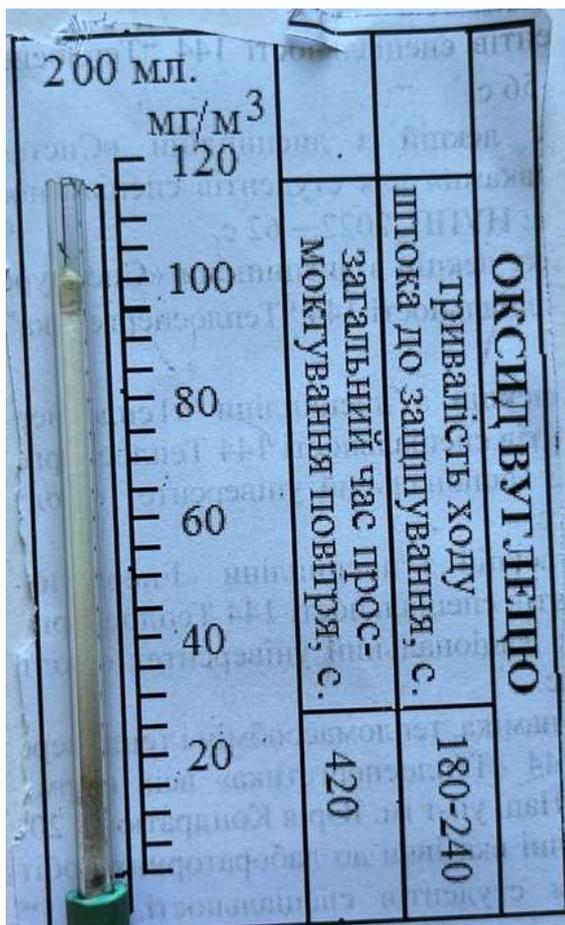


Фото 1.9 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 2700мл димових газів.

На цьому зображенні ми спостерігаємо невелике потемніння індикатора на рівні 35мг/м³.

									Арк.
									18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

Другий замір

Ставимо нову індикаторну трубку при цьому ми залишаємо абсорберну. Забір на 1000мл, температура димових газів 145°С.

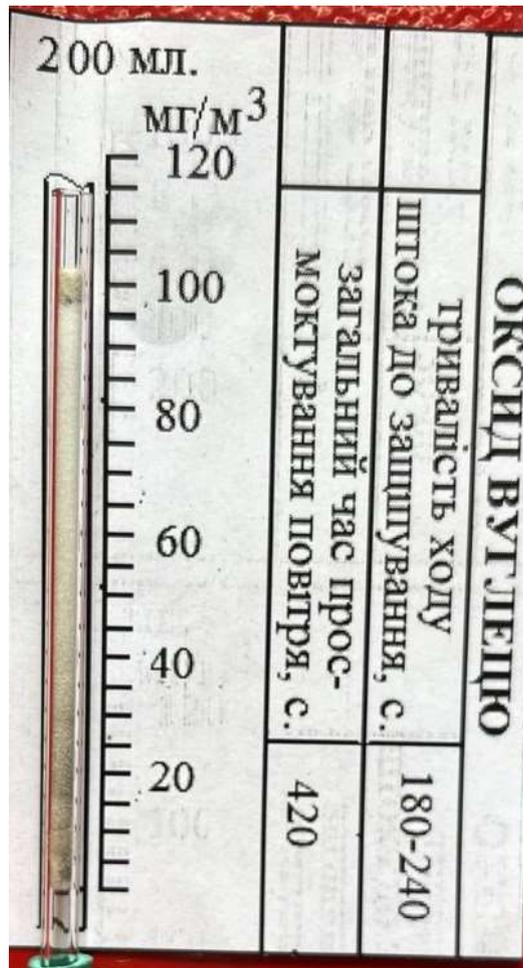


Фото 2.2 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 1000мл димових газів.

На цьому зображенні ми спостерігаємо невелике потемніння індикатора на рівні 35мг/м³.

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

П'ятий замір

Було прийняте рішення взяти трубку із третього заміру та пропустити через неї ще 400мл цього, залишаємо абсорберну та повертаємо другу швидкість на обох фенах. Температура димових газів 139°С, сумарний пропуск через трубку з третього заміру 1400мл.

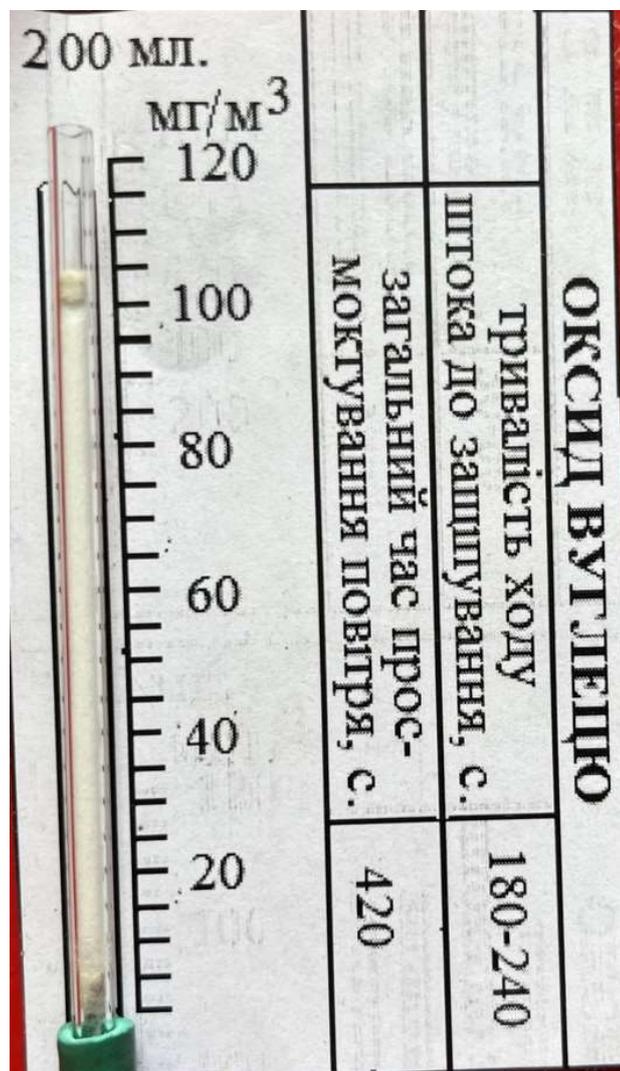


Фото 2.5 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 1400мл димових газів.

Як бачимо на фото – це не призвело до результату.

Дослід 3.3

Перевірка індикаторів, та їх калібровка

Проводимо перевірку індикаторів та калібруємо їх. У даних замірах будемо використовувати 3 індикаторні трубки та 3 абсорбери, після кожного дослідження змінюємо абсорбер. Перед проведенням третього дослідження – потрібно було розпалити котел, в якості палива використовували картон та папір. При цьому ми повинні тримати температурний режим димових газів від 100-200°C, також виставляємо на фенах другий режим швидкості та виставляємо другий режим нагріву.

Перший замір

Робимо замір на 1000мл, температура димових газів 140°C.

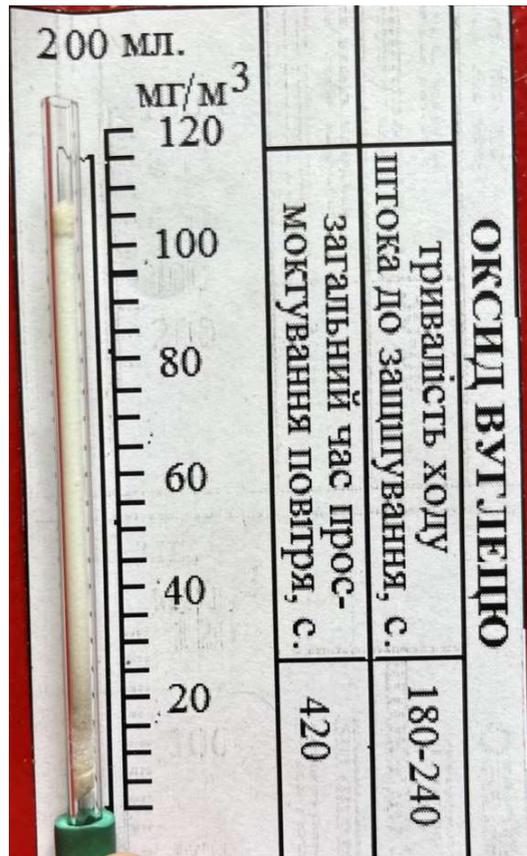


Фото 3.1 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 1000мл димових газів. На цьому зображенні спостерігаємо невелике потемніння індикатора на рівні 20мг/м³.

Третій замір

Робимо замір на 1000мл , змінюючи трубку з індикатором та абсорбером,
температура димових газів 190° С.

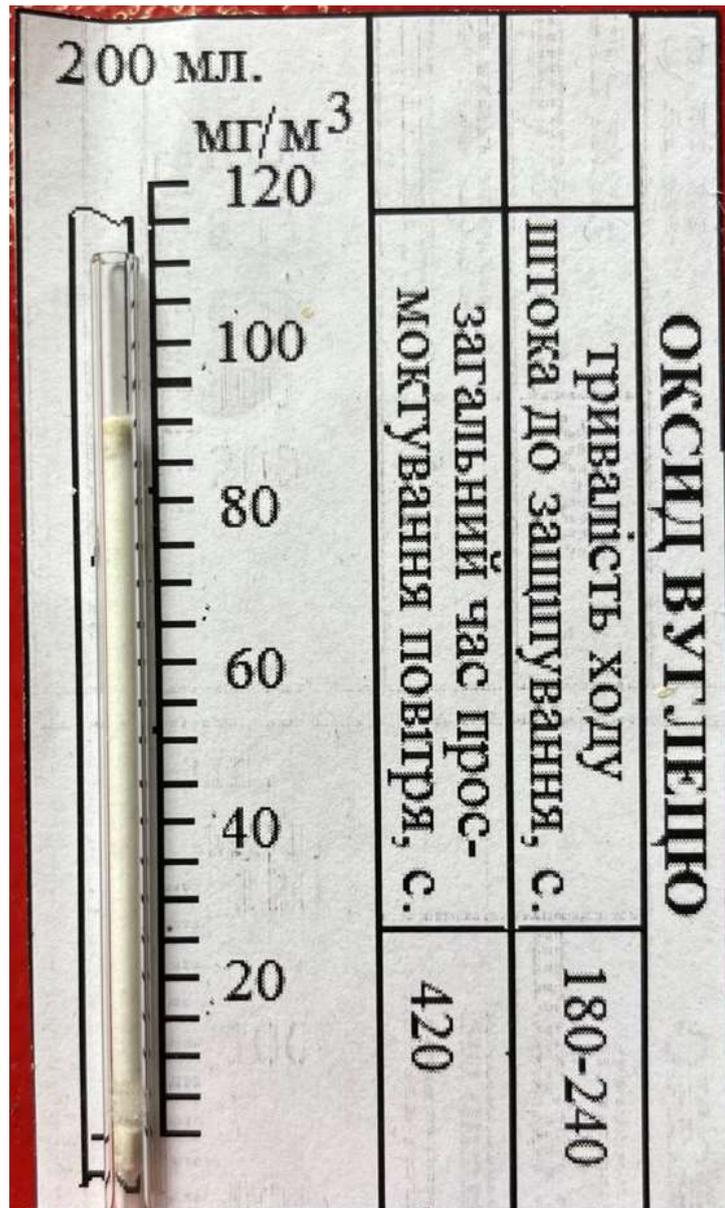


Фото 3.3 Індикаторна трубка після проходження крізь неї 1000мл димових газів.

На цьому фото бачимо, що індикаторна трубка не змінила забарвлення.

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

4. Повна перевірка індикаторів

Проводимо повну перевірку індикаторів за допомогою хімічних реагентів. Для цього, знадобиться сірчана кислота, мурашина кислота та зробити установку для перевірки.

Є два варіанти проведення даного досліду для отримання чадного газу. Можна використати сірчану кислоту як каталізатор або, як дегідратат. Але при цьому будуть змінюватися умови для реакції, бо, якщо будемо використовувати сірчану кислоту, як каталізатор нам знадобиться невелика кількість кислоти, та потрібно буде довести нашу суміш до температури 150-200°С. Другий варіант, якщо будемо використовувати сірчану кислоту, як дегідратат, то ми додаємо її в пропорції 50/50 з мурашиною кислотою та доводимо дану суміш до температури 100-160°С.

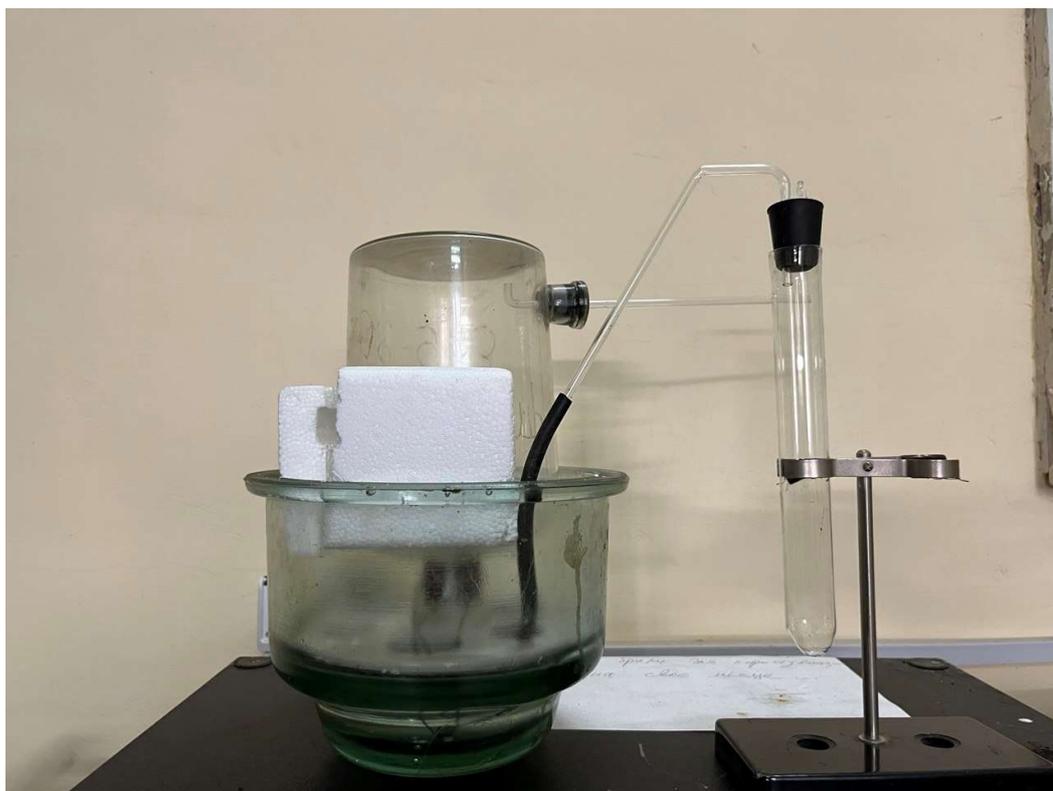


Фото 4.1 Фото установки для отримання концентрованого СО

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Дослід 4.2

Використання сірчаної кислоти як дегідратату

Для цього потрібно додати у пробірку мурашину та сірчану кислоту у пропорції 50/50. Після чого почати помірно нагрівати суміш.



Фото 6.1 Удосконалена установка для отримання концентрованого СО

Для цього дослід з використанням кислоти як дегідратату, ми удосконалили установку та додали додатковий кран для того, щоб коли перестанемо нагрівати нашу суміш, вода не потрапила назад у колбу.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Зняття першої проби

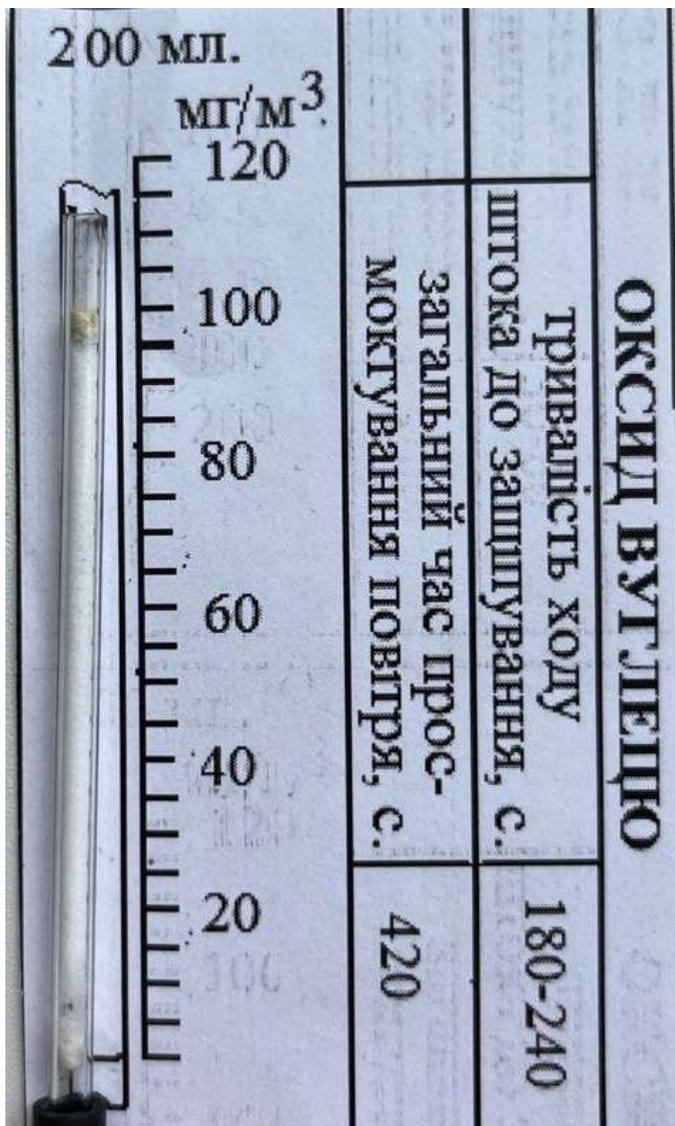


Фото 6.3 Пропуск крізь трубку концентрованого CO.

Перший замір брали на 300мл. Як видно на цьому зображенні, зміни у кольорі індикатора не відбулося.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401- НТ -9476030

Арк.

33

Другий замір

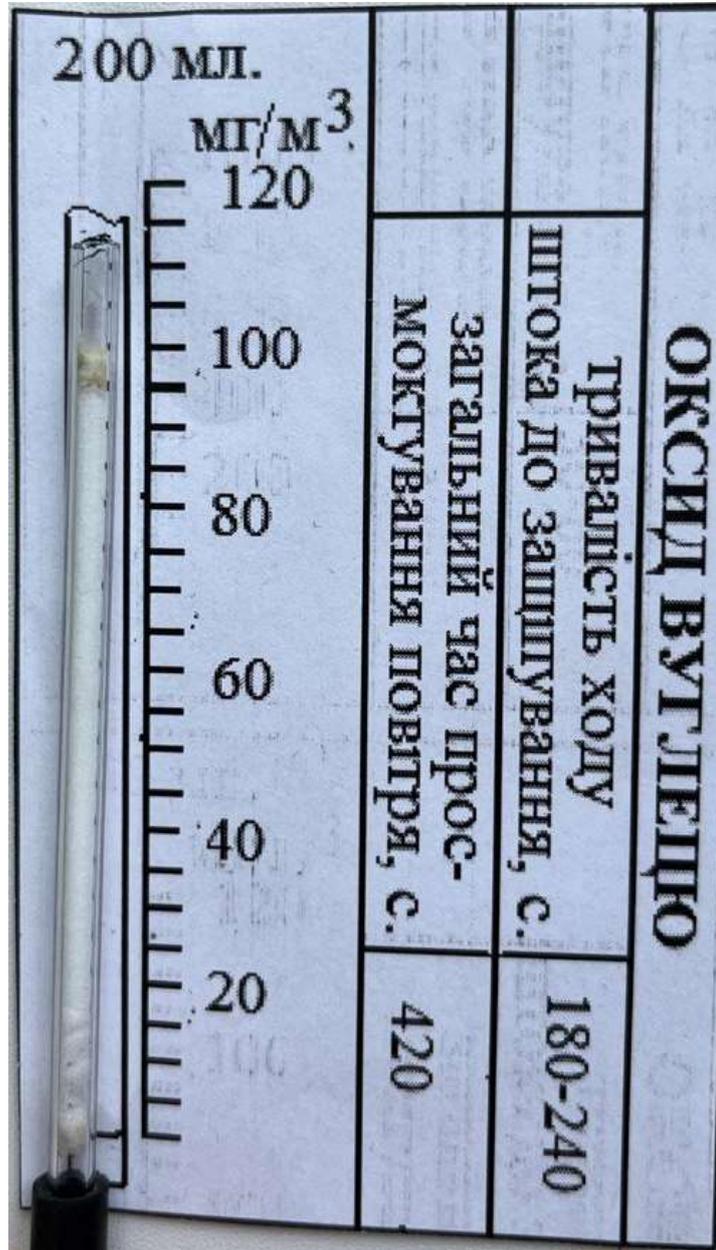


Фото 6.4 Пропуск крізь трубку концентрованого CO.

Другий замір брали на 300 мл. Як видно на цьому зображенні, зміни у кольорі індикатора не відбулося.

Третій замір

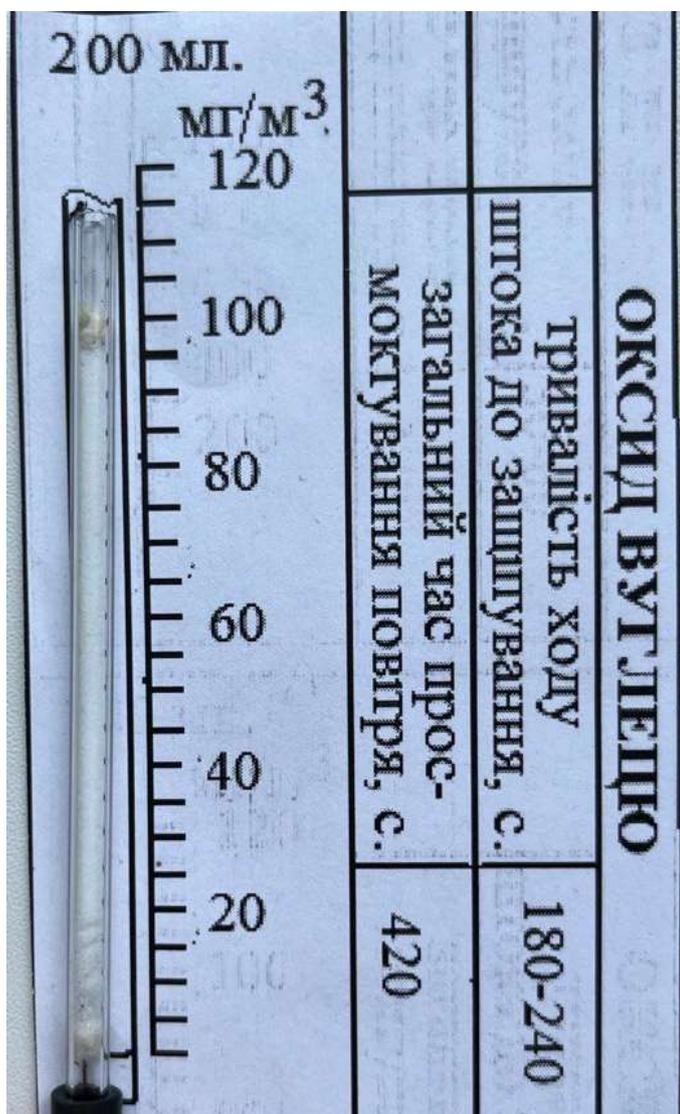


Фото 6.5 Пропуск крізь трубку концентрованого CO.

Третій замір брали на 300 мл. Як видно на цьому зображенні, зміни у кольорі індикатора не відбулося. Як бачимо, у проведених дослідах з кислотами наші індикатори не змінили колір, хоча ми знаємо, що при проведеній реакції почав виділятися газ. І це точно був CO. Це означає, що ми можемо зробити висновок: наші індикаторні порошки не працюють, а саме: вони не змінюють забарвлення та лише реагують на вологу.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401- НТ -9476030

Арк.

35

Висновок

Після проведення перших п'яти дослідів, точно можемо зробити висновок, що застосовані нами індикатори не працюють. Ми змогли це побачити лише тоді, коли змогли провести дослід з кислотами. Тому, що ми точно знали, якщо провести дану реакцію з кислотами, то можна буде отримати концентрований СО. А так як на наших індикаторних трубках не відбулося реакцій, можна точно сказати, що вони не працюють. Як ми зрозуміли після проведеного дослід з кислотами, що у перших дослідах наші індикаторні трубки змінювали колір не через СО, він вловлював сажу хоча у нас стояв абсорбер.

									Арк.
									36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

5. Технічні характеристики Дозор-С-М-3

Даний газоаналізатор призначений для:

- Автоматичного періодичного контролю вибухонебезпечних концентрацій горючих газів і парів а, також їх сумішей.
- Автоматичних періодичних вимірювань гранично допустимих концентрацій газових сумішей.
- Видача світлових та звукових сигналів при досягненні заданих значень концентрації газів.

Таблиця 2

Компоненти та пороги спрацювання сигналів

Назва газових сумішей	Поріг-1	Поріг-2	Поріг-3
Аміак	20 мг/м ³	60 мг/м ³	200 мг/м ³
Аміак-1500	500 мг/м ³	1500 мг/м ³	-
Метан	0,44% об.	0,88% об.	-
Гексан	0,1% об.	0,2% об.	-
Пропан	0,17% об.	0,34% об.	-
Діоксид азоту	5 мг/м ³	15 мг/м ³	-
Діоксид сірки	10 мг/м ³	50 мг/м ³	-
Діоксид вуглецю	0,25% об.	0,5% об.	-
Діоксид вуглецю	0,25% об.	0,5% об.	-
Діоксид вуглецю	0,5% об.	1% об.	-

Аміак	мг/м ³	20 до 120	25%	-
Аміак	мг/м ³	0 до 500	-	125 мг/м ³
Аміак	мг/м ³	500 до 1500	25%	-
Діоксид азоту	мг/м ³	0 до 5	-	1,25 мг/м ³
Діоксид азоту	мг/м ³	5 до 15	25%	-
Діоксид сірки	мг/м ³	0 до 5	-	7,5 мг/м ³
Діоксид сірки	мг/м ³	5 до 15	25%	-
Діоксид вуглецю	Об. %	0 до 0,05	-	0,012%
Діоксид вуглецю	Об. %	0,05 до 0,20	25%	-
Діоксид вуглецю	Об. %	0 до 0,25	-	0,06%
Діоксид вуглецю	Об. %	0,25 до 1	25%	-
Діоксид вуглецю	Об. %	0 до 1	-	0,25%
Діоксид вуглецю	Об. %	1 до 5	25%	-
Діоксид вуглецю	Об. %	0 до 20	-	5%
Діоксид вуглецю	Об. %	20 до 100	25%	-
Кисень	Об. %	0 до 30	-	0,8%

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401-НТ-9476030

Арк.

39

Кисень	Об. %	15 до 30	-	0,8%
Кисень	Об. %	30 до 100	25%	-
Метан	мг/м ³	0 до 300	-	75 мг/м ³
Метан	мг/м ³	300 до 1000	25%	-
Метан	Об. %	0 до 2,2	-	0,22%
Метан	Об. %	2,2 до 4,4	10%	-
Метан	Об. %	0 до 50	-	5%
Метан	Об. %	50 до 100	10%	-
Оксид азоту	мг/м ³	0 до 5	-	1,25 мг/м ³
Оксид азоту	мг/м ³	5 до 30	25%	-
Оксид азоту	мг/м ³	0 до 50	-	12,5 мг/м ³
Оксид азоту	мг/м ³	50 до 300	25%	-
Оксид вуглецю	мг/м ³	0 до 30	-	7,5 мг/м ³
Оксид вуглецю	мг/м ³	30 до 120	25%	-
Сірководень	мг/м ³	0 до 10	-	2,5 мг/м ³
Сірководень	мг/м ³	10 до 50	25%	-
Хлор	мг/м ³	0 до 1	-	0,25 мг/м ³
Хлор	мг/м ³	1 до 5	25%	-

					401-НТ-9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

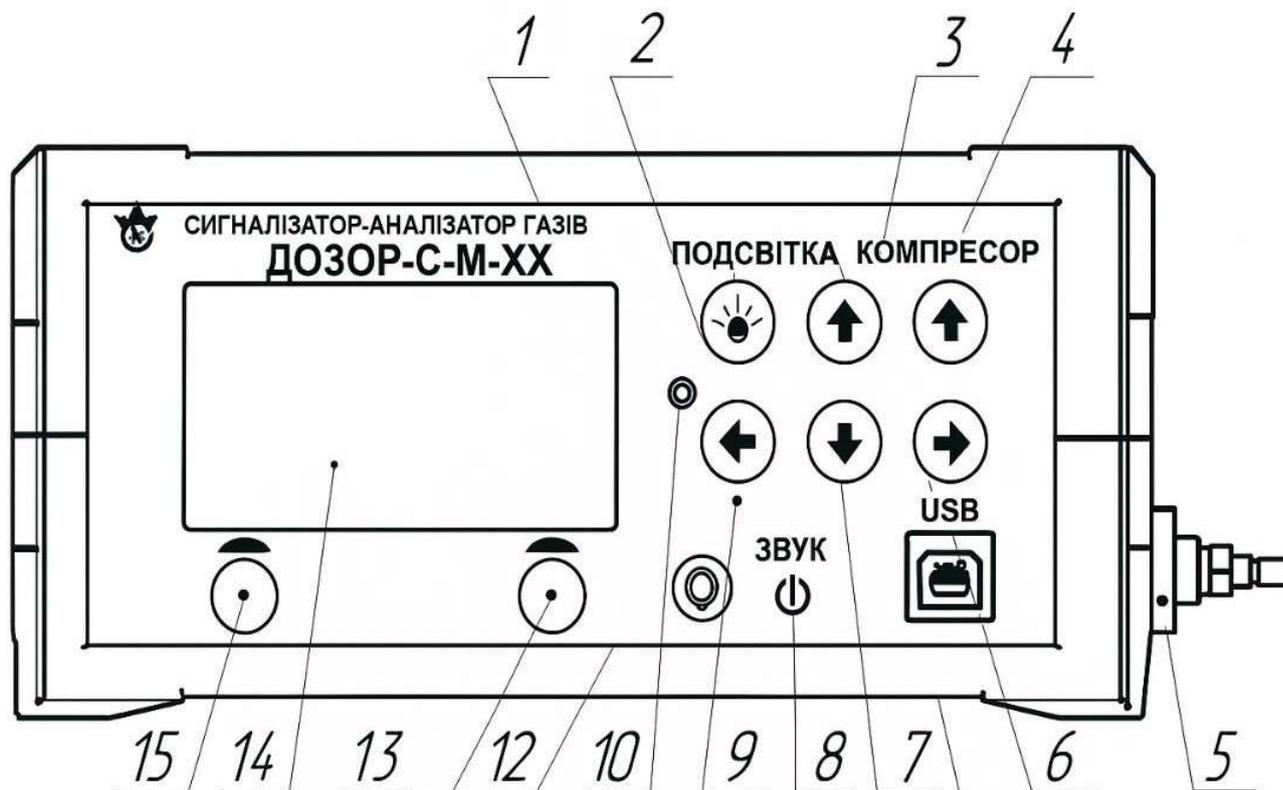


Рис.4 Схема газоаналізатора Дозор-С-М.

- 1 Корпус
- 2 Кнопка увімкнення-вимкнення підсвітки
- 3 Кнопка вгору
- 4 Зміна роботи режиму компресора
- 5 Штуцер з фільтром від пилу
- 6 Кнопка вліво
- 7 Кнопка вниз
- 8 Увімкнення та вимкнення звуку
- 9 Кнопка вліво
- 10 Світловий індикатор
- 12 Кнопка живлення
- 13 Права кнопка меню
- 14 Дисплей пристрою
- 15 Ліва кнопка меню яка відповідає за збереження, архівацію, вибір, обнулення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401- НТ -9476030

Арк.

42

Досліди з використанням газоаналізатора Дозор-С-М-3

Для проведення нового дослідження нам потрібно удосконалити установку, що для цього нам потрібно: нанести відмітки на колбі для замірів, встановити додатковий кран для перекриття, встановити вологоутримувач, а саме силікогель та встановити фільтр ввід сажі, у якості фільтра беремо звичайну вату.

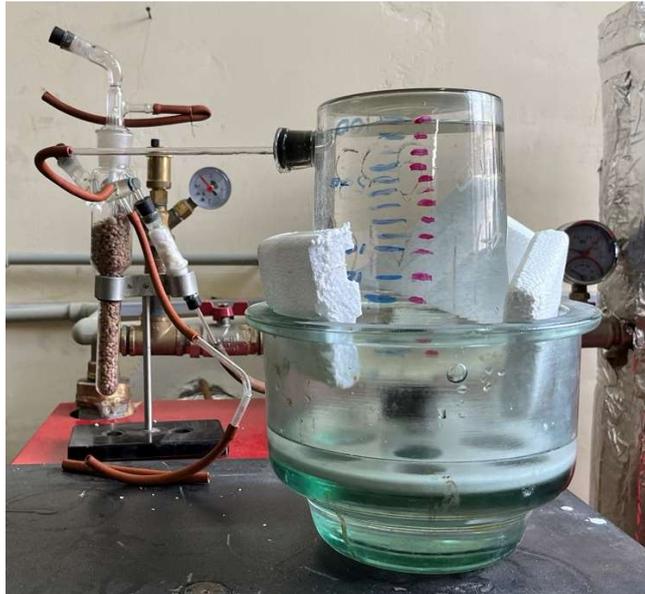


Фото 7.1 Установка для забору димових газів з осушувачем.



Фото 7.2 Установка з забором димових газів з підключеним газоаналізатором.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Перед початком експерименту потрібно було зібрати нашу установку, а також перевірити наявність СО у нашій кімнаті.



Фото 7.3 Проба повітря у кімнаті .

Як ми бачимо, перед початком заміру, у даній кімнаті концентрації $CO-8,1\text{мг/м}^3$, $NO_2-0,056\text{мг/м}^3$, $SO_2-0,11\text{мг/м}^3$. Тобто маємо врахувати ці данні, коли будемо брати пробу газу. Це означає, що після того як ми візьмемо пробу і отримаємо результат заміру, нам потрібно буде відняти початкові значення.

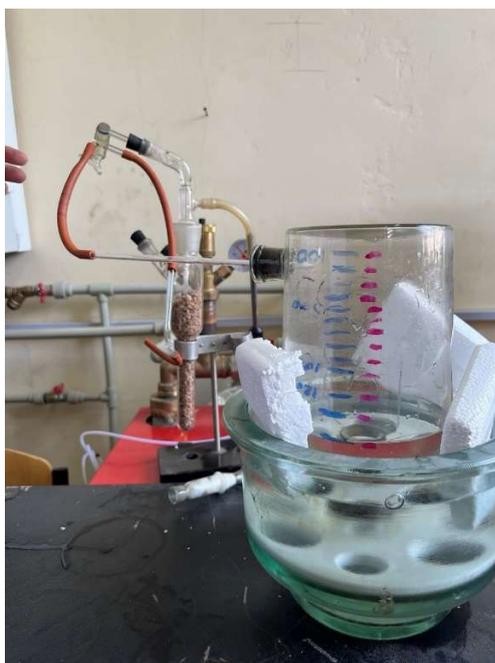


Фото 7.4 Забір проби димових газів.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



Фото 7.5 Перевантаження приладу димовими газами.

Як бачимо наш прилад пішов у перевантаження, при цьому ми брали пробу димових газів у 200 мл, а потім розбавляли їх повітрям у обсязі 1800 мл. Тобто потрібно зменшити пробу взяття димових газів – це буде означати, що ми беремо меншу кількість газу та розбавляємо більшою кількістю повітря. Або змінити сам забір димових газів, тобто змінити методику забору.

									Арк.
									45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401-НТ-9476030				

Дослід 5.1

Для даного дослідження змінимо методику проведення дослідження, а саме наберемо у два шприци різні проби газу з відкритим піддувалом та закритим, також для цього дослідження не будемо підігрівати вхідне повітря.

Перший замір

Перед початком дослідження заміряємо концентрацію CO у повітря, яке набрали у нашу ємність.



Фото 8.1 Зняття проби повітря у тарі.

Як бачимо на даному фото, концентрації наших компонентів: CO-0мг/м³, NO₂-0,245мг/м³, SO₂-0,47мг/м³. Тобто повітря яке ми набрали чисте. Тепер вводимо другу ін'єкцію з димовими газами у нашу тару, але ці димові гази ми отримали з закритим піддувалом.

									Арк.
									46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				



Фото 8.4 Зняття проби димових газів у тарі.

На цьому зображенні бачимо, що наш прилад не пішов у перевантаження. Також видно, що змінилися концентрації наших газів: CO-49,3мг/м³, NO₂-0,202мг/м³, SO₂-0,66мг/м³. Після того, як побачили, що концентрація змінилася, ми повинні з нашого результату відняти початкові значення.

$$CO=49,3-1=48,3\text{мг/м}^3$$

$$NO_2=0,202-0,191=0,011\text{мг/м}^3$$

$$SO_2=0,66-0,4=0,26\text{мг/м}^3$$

Після того, як визначили концентрацію, нам потрібно помножити на наш коефіцієнт перерахунку, що буде дорівнювати 400, а потім ділимо на 1000, щоб перевести наші мг/м³ у г/м³.

$$CO=48,3*400=19320/1000=19,32\text{г/м}^3$$

$$NO_2=0,011*400=4,4/1000=0,0044\text{г/м}^3$$

$$SO_2=0,26*400=104/1000=0,104\text{г/м}^3$$

Це наші реальні значення концентрацій у димових газів.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Третій замір

Перевіряємо нове повітря у нашій тарі за допомогою газоаналізатора.

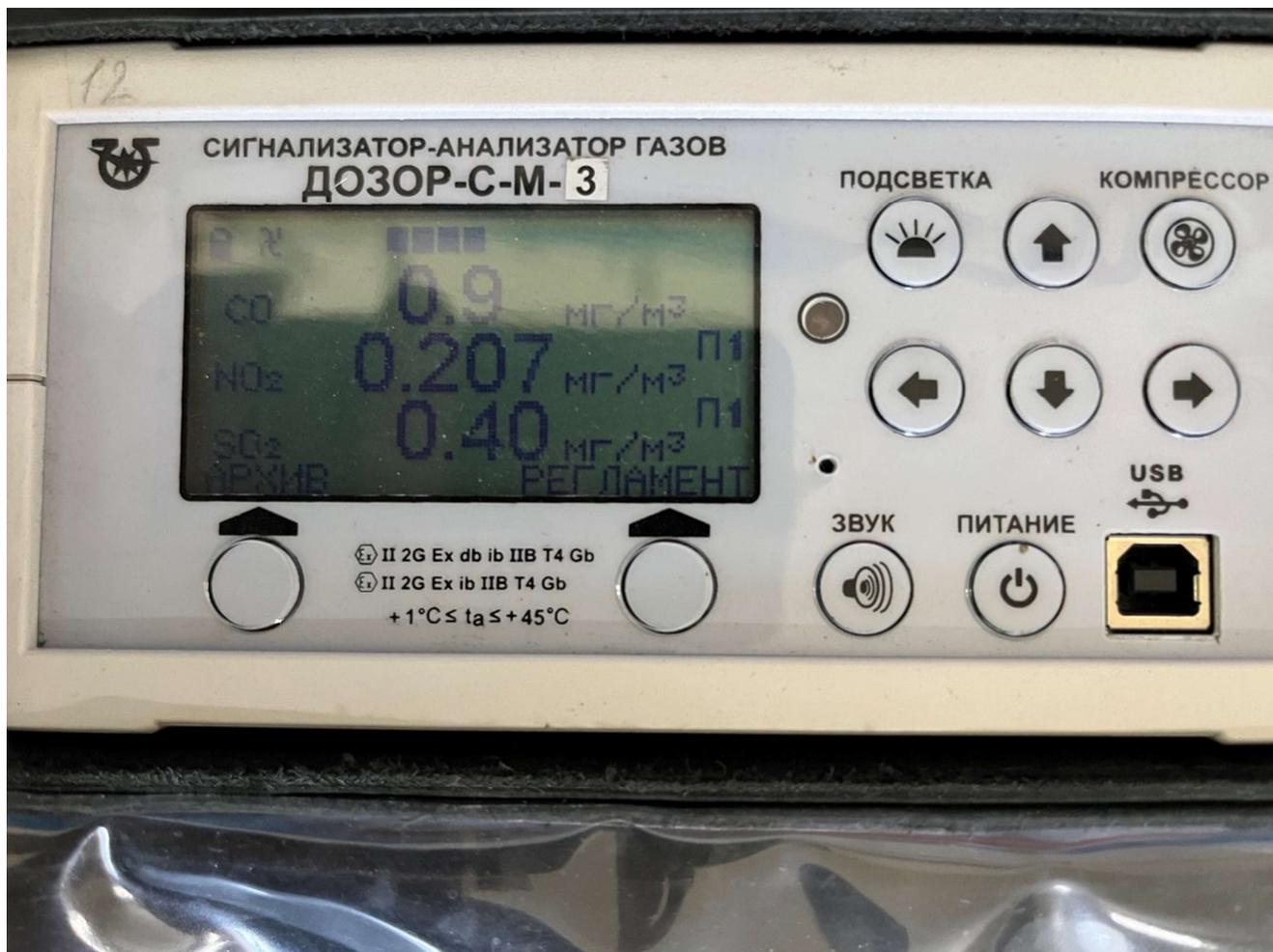


Фото 8.5 Зняття проби повітря у тарі.

Як бачимо на даному фото, концентрації наших компонентів: $\text{CO}-0,9\text{мг}/\text{м}^3$, $\text{NO}_2-0,207\text{мг}/\text{м}^3$, $\text{SO}_2-0,4\text{мг}/\text{м}^3$. Тобто повітря яке набрали – чисте. Тепер вводимо першу ін'єкцію з димовими газами у нашу тару, але ці димові гази ми отримали з відкритим піддувалом. Після того, як перевірили наше повітря, вводимо ін'єкцію номер один у нашу тару у обсязі 5 мл на об'єм тари у 2 л. Тут було прийнято рішення повернутися до об'єму 5мл тому, що дані димові гази були набрані з відкритим піддувалом, що надавало велику кількість повітря для горіння.

										Арк.
										50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030					



Фото 9.2 Забір проби димових газів.

На цьому зображенні бачимо, що наш прилад не пішов у перевантаження. Також видно, що змінилися концентрації наших газів: CO-22,6мг/м³, NO₂-0,091мг/м³, SO₂-0,43мг/м³. Після того, як побачили, що концентрація змінилася, ми повинні з нашого результату відняти початкові значення.

$$CO=22,6-0=22,6\text{мг/м}^3$$

$$NO_2=0,091-0,07=0,021\text{мг/м}^3$$

$$SO_2=0,43-0,17=0,26\text{мг/м}^3$$

Після того, як визначили концентрацію, нам потрібно помножити на наш коефіцієнт перерахунку, що буде дорівнювати 400, а потім ділимо на 1000, щоб перевести мг/м³ у г/м³.

$$CO=22,6*400=9040/1000=9,04\text{г/м}^3$$

$$NO_2=0,021*400=8,4/1000=0,0084\text{г/м}^3$$

$$SO_2=0,26*400=104/1000=0,104\text{г/м}^3$$

					401-НТ-9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



Фото 9.12 Забір проби димових газів.

На цьому зображенні бачимо, що наш прилад не пішов у перевантаження. Також видно, що змінилися концентрації наших газів: CO-35,9мг/м³, NO₂-0,138мг/м³, SO₂-0,48мг/м³. Після того, як побачили, що концентрація змінилася ми повинні з нашого результату відняти початкові значення.

$$CO=26,1-1,3=24,8\text{мг/м}^3$$

$$NO_2=0,088-0,057=0,031\text{мг/м}^3$$

$$SO_2=0,4-0,25=0,15\text{мг/м}^3$$

Після того, як визначили концентрацію, нам потрібно помножити на наш коефіцієнт перерахунку, що буде дорівнювати 400, а потім ділимо на 1000, щоб перевести наші мг/м³ у г/м³.

$$CO=24,8*400=9920/1000=9,92\text{г/м}^3$$

$$NO_2=0,031*400=12,4/1000=0,0124\text{г/м}^3$$

$$SO_2=0,15*400=60/1000=0,06\text{г/м}^3$$

										Арк.
										64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030					

Замір на ін'єкції номер 4.4

Перевіряємо повітря у нашій тарі за допомогою газоаналізатора.

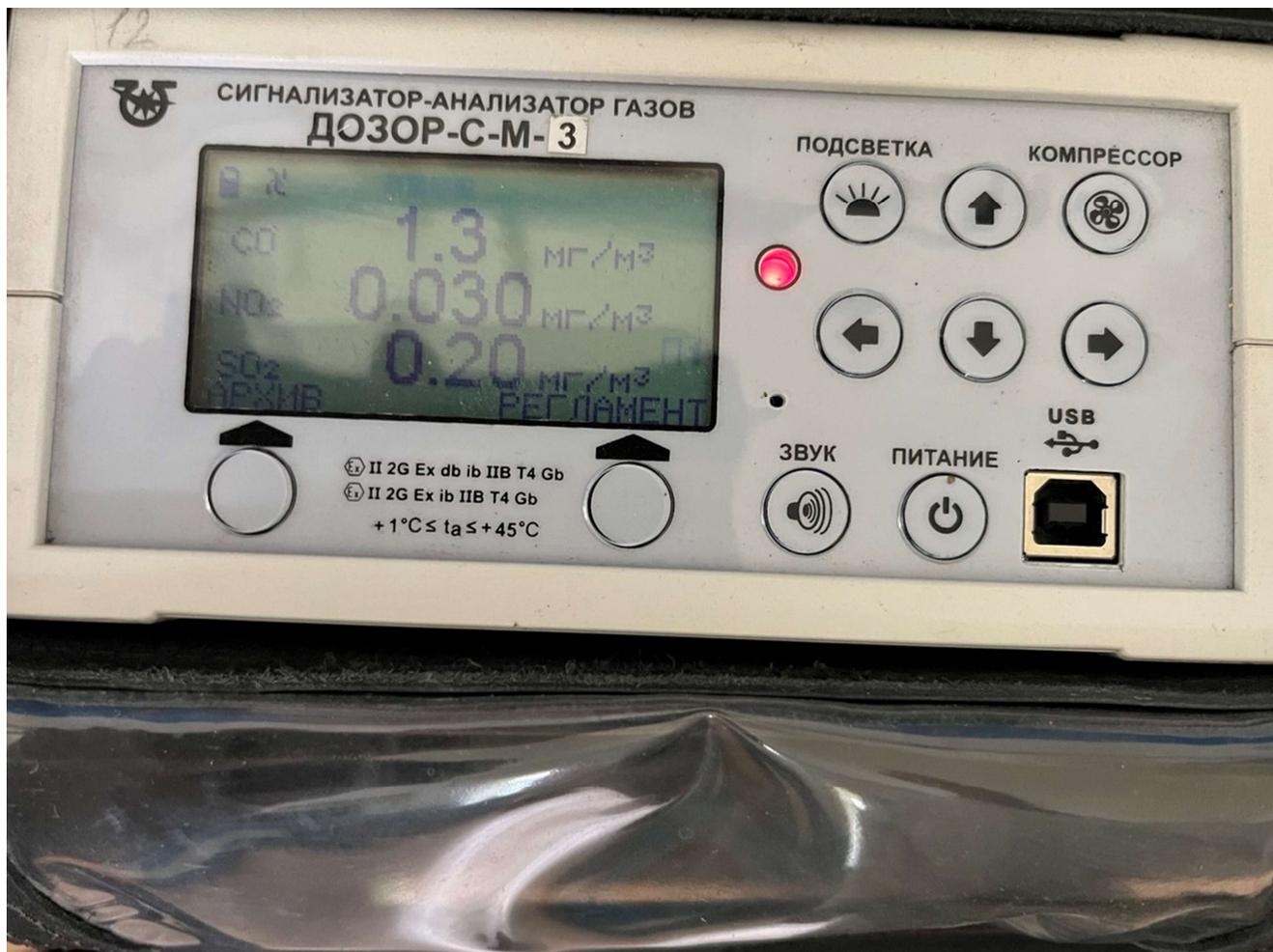


Фото 9.15 Перевірка повітря у тарі.

Як бачимо на даному фото, концентрації наших компонентів: CO-1,3мг/м³, NO₂-0,03мг/м³, SO₂-0,2мг/м³. Тобто повітря яке набрали – чисте. Тепер вводимо ін'єкцію 4.4 з димовими газами у нашу тару, а також ці димові гази були набрані при підігріві повітря 196°С та температурі димових газів 174°С. Після того, як перевірили наше повітря, вводимо ін'єкцію номер 4.4 у нашу тару у обсязі 5 мл на об'єм тари у 2 л. І фіксуємо найбільше значення.

									Арк.
									67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401-НТ-9476030				



Фото 9.16 Забір проби димових газів.

На цьому зображенні бачимо, що наш прилад не пішов у перевантаження. Також видно, що змінилися концентрації наших газів: CO - $19,9\text{мг/м}^3$, NO_2 - $0,051\text{мг/м}^3$, SO_2 - $0,3\text{мг/м}^3$. Після того, як побачили, що концентрація змінилася, ми повинні з нашого результату відняти початкові значення.

$$\text{CO} = 19,9 - 1,3 = 18,6\text{мг/м}^3$$

$$\text{NO}_2 = 0,051 - 0,03 = 0,021\text{мг/м}^3$$

$$\text{SO}_2 = 0,3 - 0,2 = 0,1\text{мг/м}^3$$

Після того, як визначили концентрацію, нам потрібно помножити на наш коефіцієнт перерахунку, що буде дорівнювати 400, а потім ділимо на 1000, щоб перевести наші мг/м^3 у г/м^3 .

$$\text{CO} = 18,6 * 400 = 7440 / 1000 = 7,44\text{г/м}^3$$

$$\text{NO}_2 = 0,021 * 400 = 8,4 / 1000 = 0,0084\text{г/м}^3$$

$$\text{SO}_2 = 0,1 * 400 = 40 / 1000 = 0,04\text{г/м}^3$$

									Арк.
									68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401-НТ-9476030				

Замір на ін'єкції номер 5.5

Перевіряємо повітря у нашій тарі за допомогою газоаналізатора.

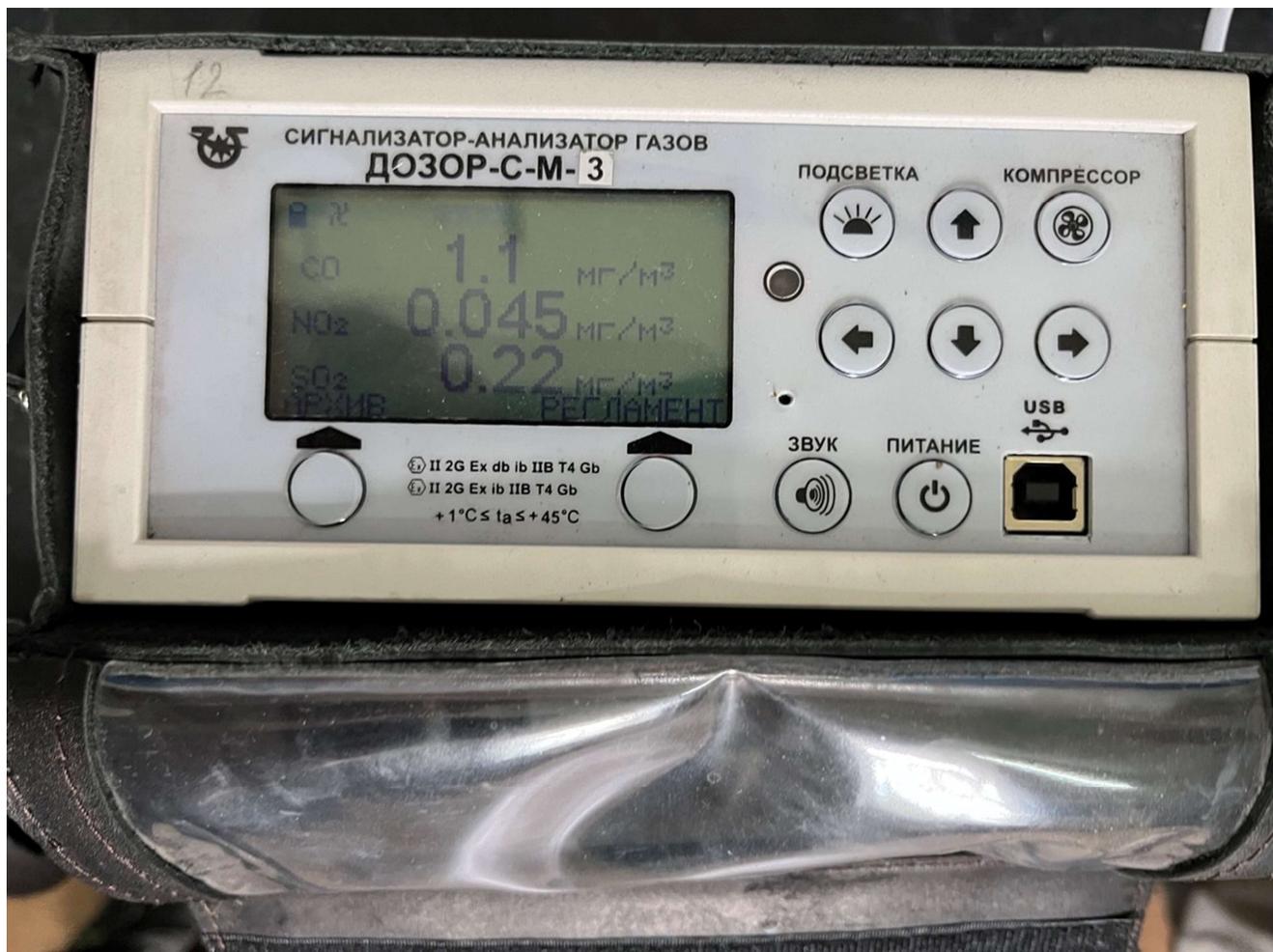


Фото 9.19 Перевірка повітря у тарі.

Як бачимо на даному фото, концентрації наших компонентів: CO-1,1мг/м³, NO₂-0,045мг/м³, SO₂-0,22мг/м³. Тобто, повітря яке набрали – чисте. Тепер вводимо ін'єкцію 5.5 з димовими газами у нашу тару, а також ці димові газы були набрані при підігріві повітря 330°С та температурі димових газів 198°С. Після того, як перевірили наше повітря, вводимо ін'єкцію номер 5.5 у нашу тару у обсязі 5 мл на об'єм тари у 2 л. І фіксуємо найбільше значення.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

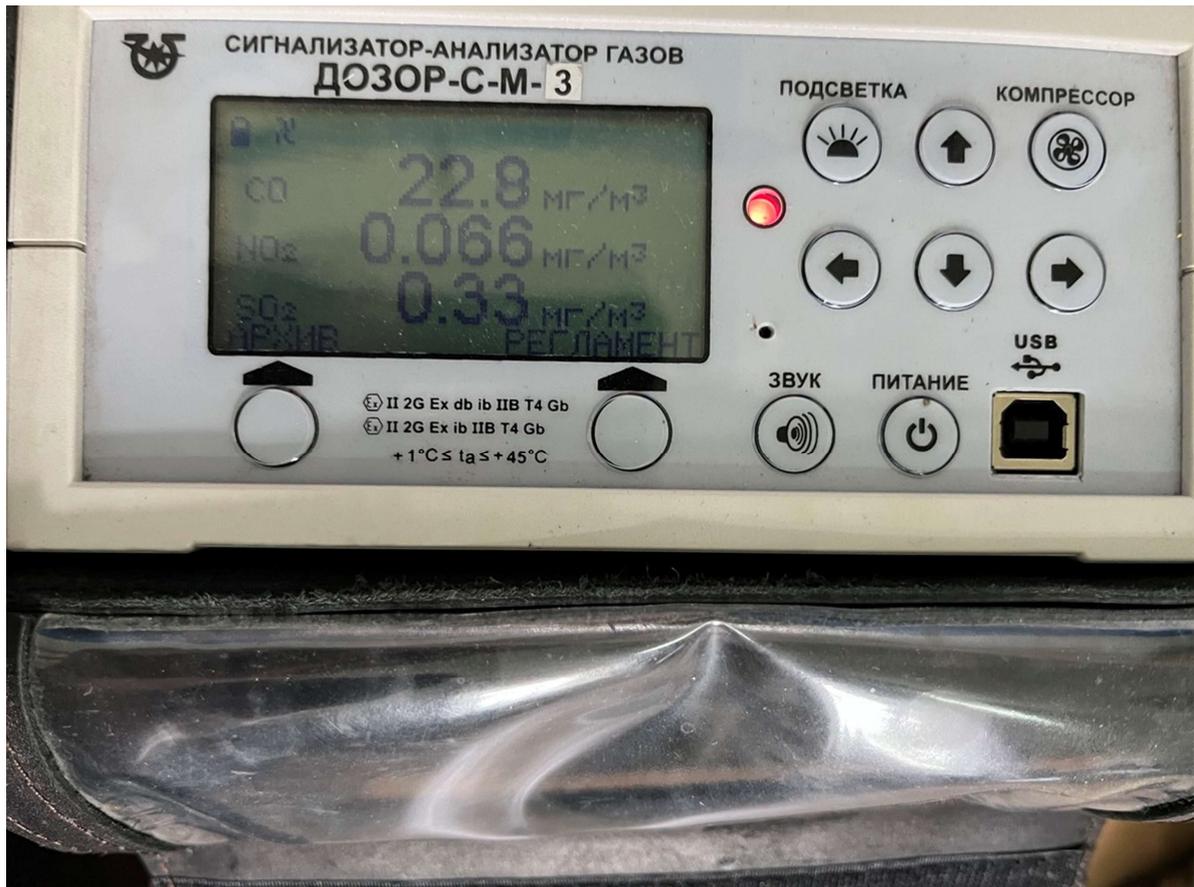


Фото 9.20 Забір проби димових газів.

На цьому зображенні бачимо, що наш прилад не пішов у перевантаження. Також видно, що змінилися концентрації наших газів: CO-22,8мг/м³, NO₂-0,066мг/м³, SO₂-0,33мг/м³. Після того, як побачили, що концентрація змінилася, ми повинні з нашого результату відняти початкові значення.

$$CO=22,8-1,1=21,7\text{мг/м}^3$$

$$NO_2=0,066-0,045=0,021\text{мг/м}^3$$

$$SO_2=0,33-0,22=0,11\text{мг/м}^3$$

Після того, як визначили концентрацію, нам потрібно помножити на наш коефіцієнт перерахунку що буде дорівнювати 400, а потім ділимо на 1000, щоб перевести наші мг/м³ у г/м³.

$$CO=21,7*400=8680/1000=8,68\text{г/м}^3$$

$$NO_2=0,021*400=84/1000=0,084\text{г/м}^3$$

$$SO_2=0,11*400=44/1000=0,022\text{г/м}^3$$

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

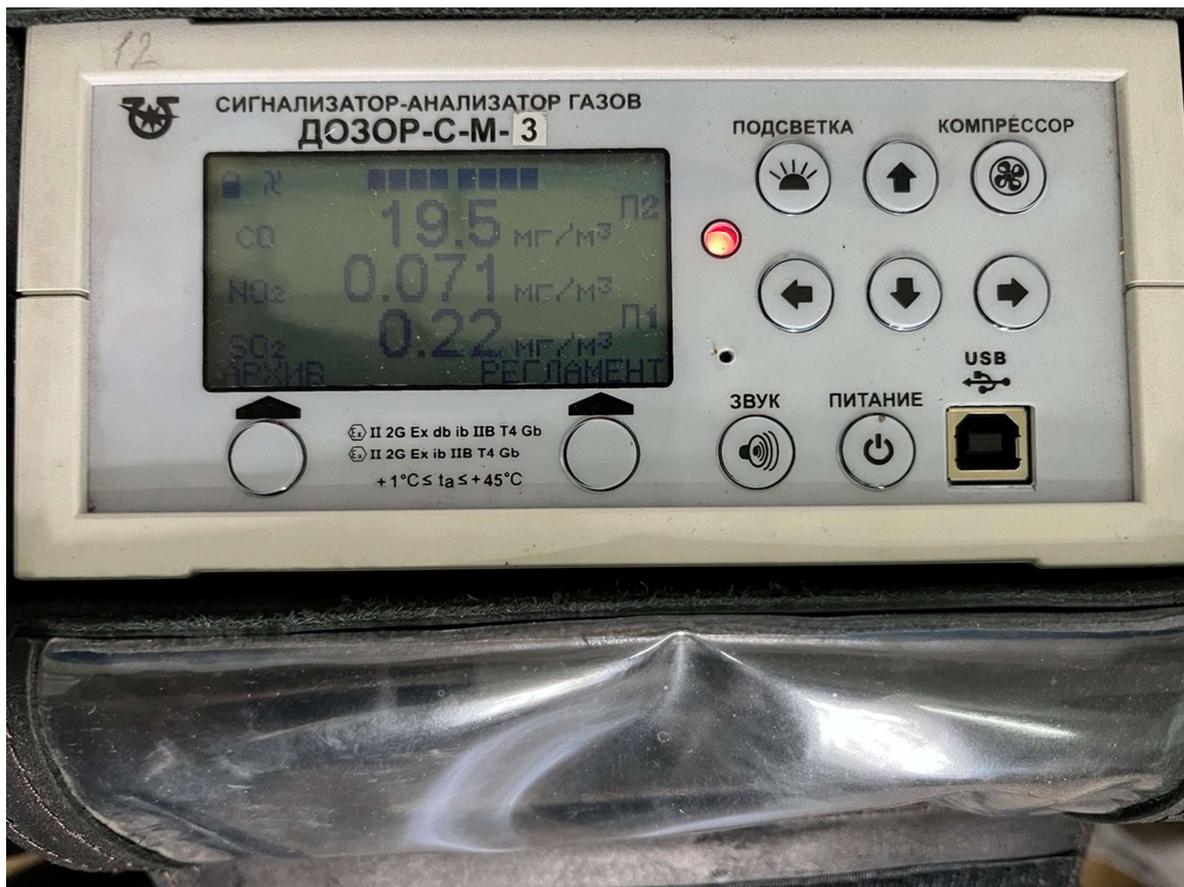


Фото 9.22 Забір проби димових газів.

На цьому зображенні бачимо, що наш прилад не пішов у перевантаження. Також видно, що змінилися концентрації наших газів: CO - $19,5\text{мг/м}^3$, NO_2 - $0,071\text{мг/м}^3$, SO_2 - $0,22\text{мг/м}^3$. Після того, як побачили, що концентрація змінилася, ми повинні з нашого результату відняти початкові значення.

$$\text{CO} = 19,5 - 1 = 18,5\text{мг/м}^3$$

$$\text{NO}_2 = 0,071 - 0 = 0,071\text{мг/м}^3$$

$$\text{SO}_2 = 0,22 - 0,18 = 0,04\text{мг/м}^3$$

Після того, як визначили концентрацію, нам потрібно помножити на наш коефіцієнт перерахунку, що буде дорівнювати 400, а потім ділимо на 1000, щоб перевести наші мг/м^3 у г/м^3 .

$$\text{CO} = 18,5 * 400 = 7400 / 1000 = 7,4\text{г/м}^3$$

$$\text{NO}_2 = 0,071 * 400 = 28,4 / 1000 = 0,0284\text{г/м}^3$$

$$\text{SO}_2 = 0,04 * 400 = 16 / 1000 = 0,016\text{г/м}^3$$

									Арк.
									74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030				

Замір на ін'єкції номер 6.6

Перевіряємо повітря у нашій тарі за допомогою газоаналізатора.



Фото 9.23 Перевірка повітря у тарі.

Як бачимо на даному фото, концентрації наших компонентів: CO-1,3мг/м³, NO₂-0мг/м³, SO₂-0,14мг/м³. Тобто, повітря яке набрали – чисте. Тепер вводимо ін'єкцію 6.6 з димовими газами у нашу тару, а також ці димові гази були набрані при підігріві повітря 420°С та температурі димових газів 238°С. Після того, як перевірили наше повітря, вводимо ін'єкцію номер 6.6 у нашу тару у обсязі 5 мл на об'єм тари у 2 л. І фіксуємо найбільше значення.

										Арк.
										75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401-НТ-9476030					

Усреднення значень замірів

Зміна CO

1) $9,04+11,12=20,16/2=10,08\text{г/м}^3$

2) $11,12+5,92=17,04/2=8,52\text{г/м}^3$

3) $14,08+9,92=24/2=12\text{г/м}^3$

4) $3,6+7,44=11,04/2=5,52\text{г/м}^3$

5) $11,32+8,68=20/2=10\text{г/м}^3$

6) $7,4+11,04=18,44/2=9,22\text{г/м}^3$

Зміна NO₂

1) $0,0084+0,0284=0,0368/2=0,00184\text{г/м}^3$

2) $0,1+0=0,1/2=0,05\text{г/м}^3$

3) $0,0008+0,0124=0,0132/2=0,0066\text{г/м}^3$

4) $0,01+0,0084=0,0094/2=0,0092\text{г/м}^3$

5) $0,0308+0,084=0,1148/2=0,0574\text{г/м}^3$

6) $0,0284+0,0224=0,0508/2=0,0254\text{г/м}^3$

Зміна SO₂

1) $0,104+0,152=0,256/2=0,128\text{г/м}^3$

2) $0,092+0,024=0,116/2=0,058\text{г/м}^3$

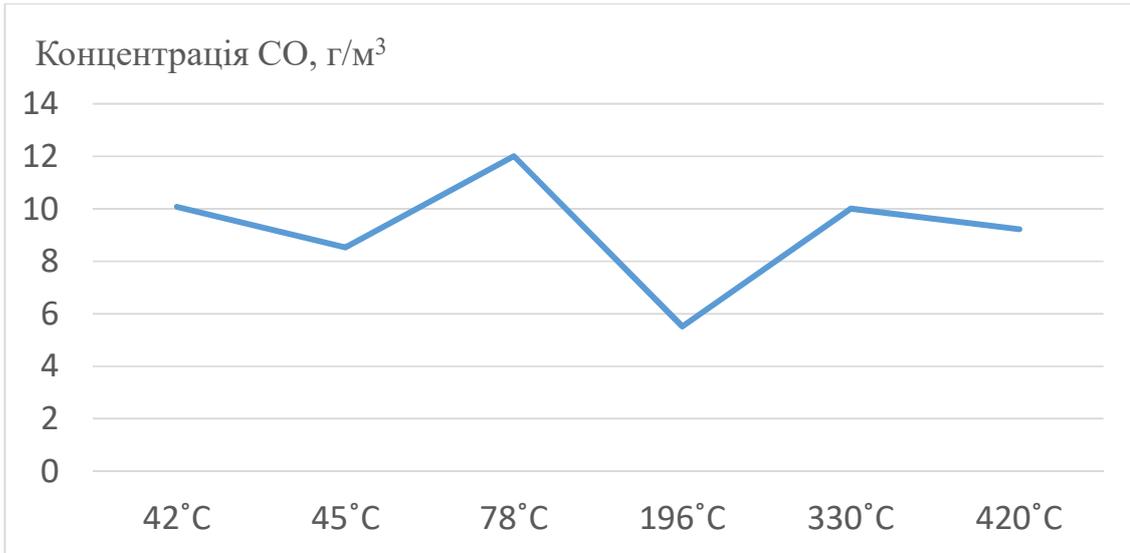
3) $0,06+0,06=0,12/2=0,06\text{г/м}^3$

4) $0,028+0,04=0,068/2=0,034\text{г/м}^3$

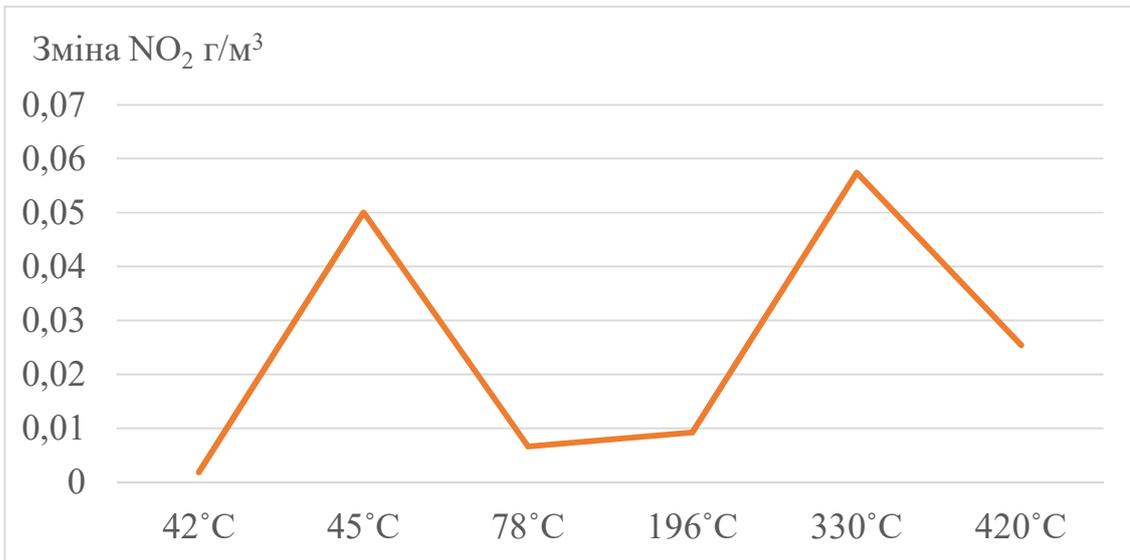
5) $0,052+0,044=0,096/2=0,048\text{г/м}^3$

6) $0,016+0,056=0,072/2=0,036\text{г/м}^3$

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77



Графік 1 Зміна CO.



Графік 2 Зміна NO₂.

					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

потрібно було змінити температуру підігріву повітря на нашому фені до 45°C. Коли підняли температуру підігріву повітря, був проведений другий замір, що дав концентрацію CO димових газів 8,52г/м³. Потім, підвищили температуру підігріву повітря до 78°C концентрація CO склала 12г/м³. Підвищивши температуру підігріву повітря до 198°C, концентрація CO зістала 5,52г/м³. Наступний етап: підвищили температуру підігріву повітря до 330°C та концентрація CO зістала 10г/м³. Після чого залишився фінальний замір, тем де температура підігріву повітря зістала 420°C та концентрації CO 9,22г/м³.

У підсумку, можна стверджувати, що під час дослідів, вдалося зменшити концентрацію CO в димових газах при підігріві повітря до 198°C. Там концентрація CO найменша, при цьому всі досліди проводилися в однакових умовах. Згідно з результатами дослідів при підвищенні дутевого повітря концентрація CO, NO₂, SO₂ планомірно зменшувалася.

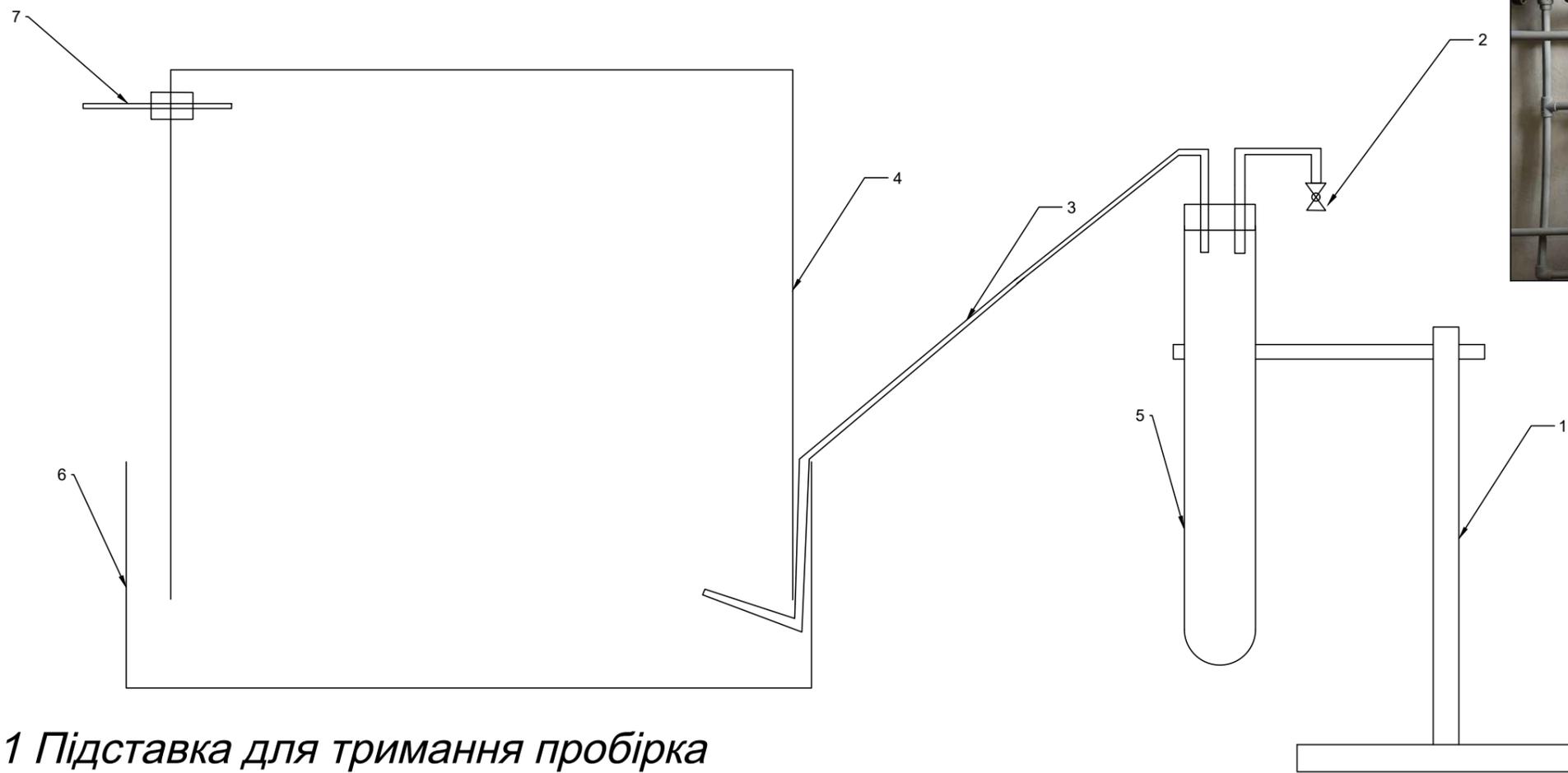
					401- НТ -9476030	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Література

1. Commission Regulation implementing Directive of the European Parliament and of the Council with regard to eco-design requirements for solid fuel boilers. EN 1185:2015
2. ДСТУ EN ISO 21912:2022 Тверде відновлювальне паливо.
3. ДСТУ 9220:2023 Паливо тверде мінеральне. Методи визначення летких речовин.
4. ДБН В.1.2-8:2021 Основні вимоги до будівель і споруд.
5. ДСТУ 8755:2019 Викиди в атмосферне повітря. Методика визначення оксиду вуглецю при спалюванні палива.
6. Literature review on co-firing sub-bituminous coal and biomass for GHG mitigation.
7. MDPI: Co-combustion of RDF and anthracite
8. Кучеренко Ю.А., Бабій С.М. Зменшення викидів СО при спалюванні вугілля в побутових котлах. Вісник НТУ “ХП” Серія: Енергетика та теплоенергетика 2021.
9. Tumuluru, J.S. Biomass torrefaction process: Modeling and analysis for CO reduction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.
10. Гіжа О.О. Екологізація енергетики: методи зменшення викидів при спалюванні палива. Київ: ІЕЕ НАН Україна, 2019.
11. Кісіль І.І. Теплоенергетика: сучасні методи контролю і зменшення викидів. Львів: Видавництво ЛНУ, 2020.
12. Vakkilainen, E.K. Steam Generation from Biomass: Construction from Boilers. Academic Press, 2016.

										Арк.
										81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	401- НТ -9476030					

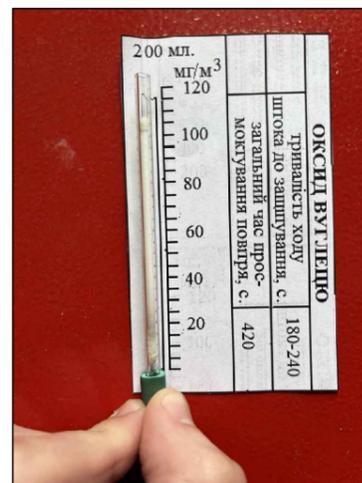
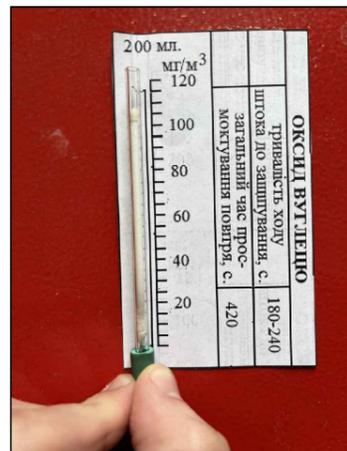
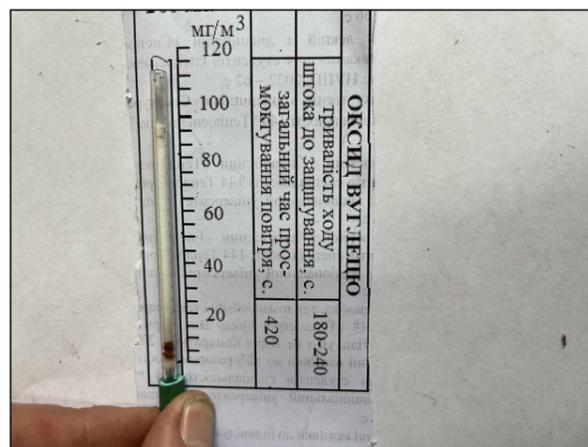
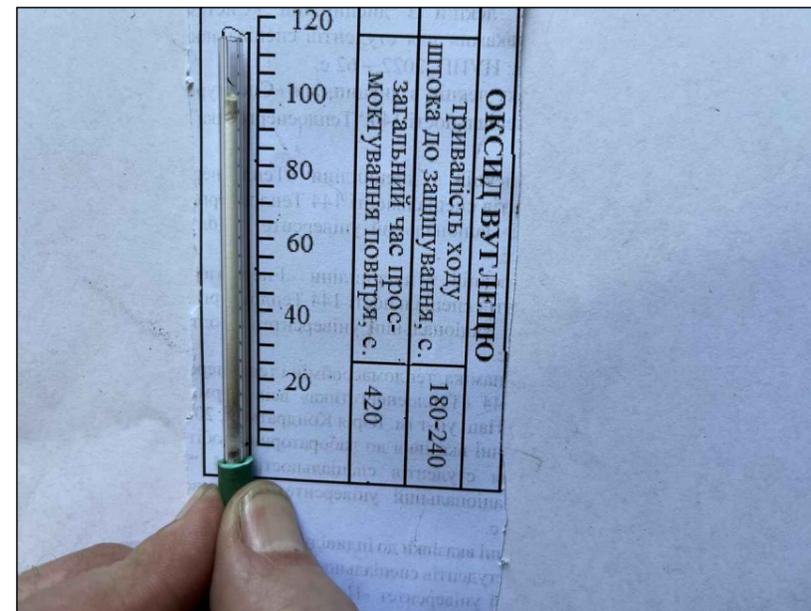
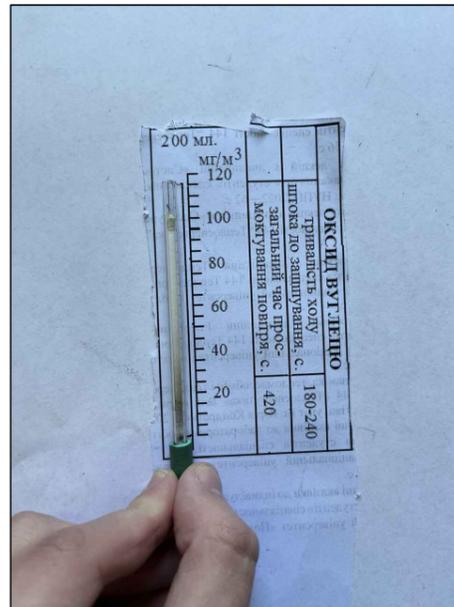
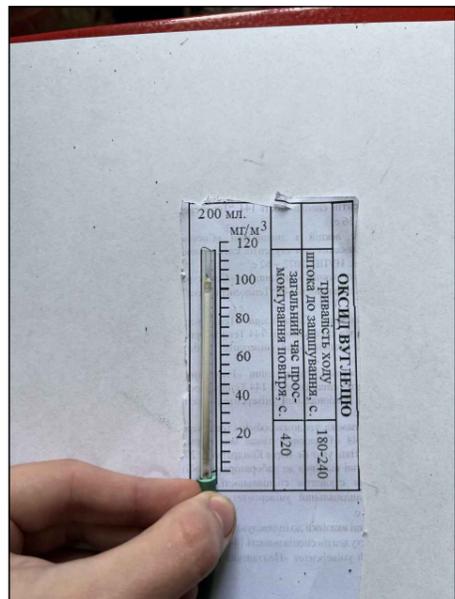
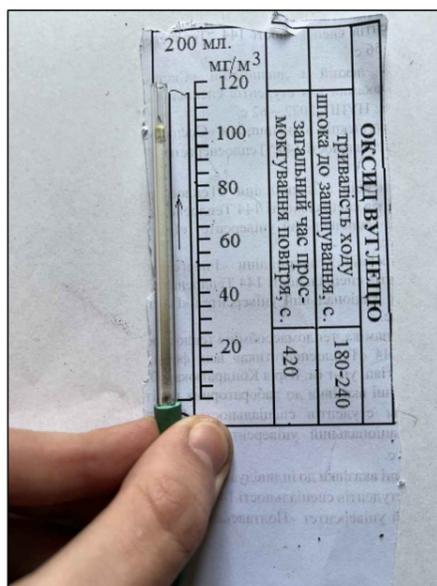
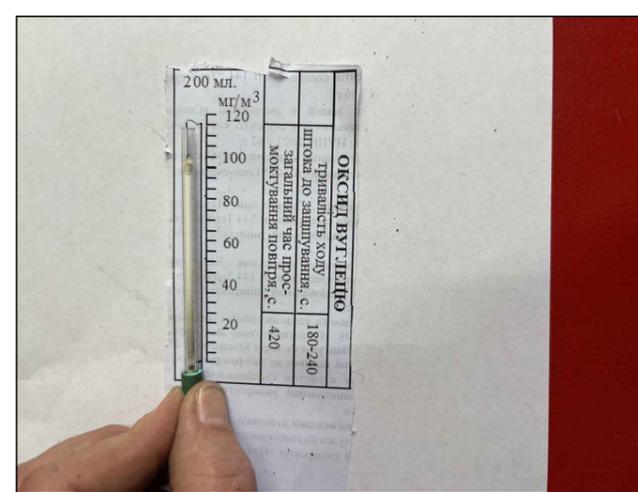
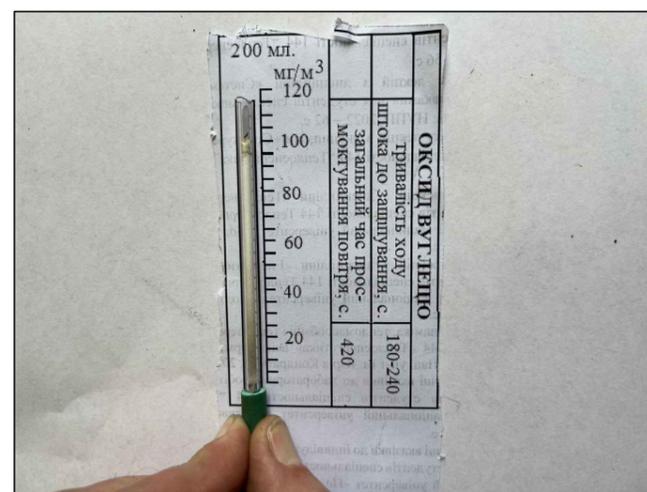
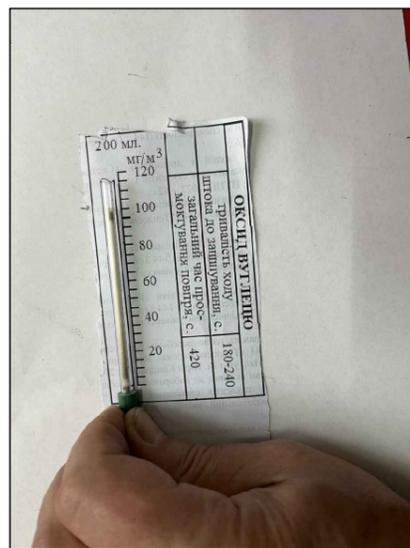
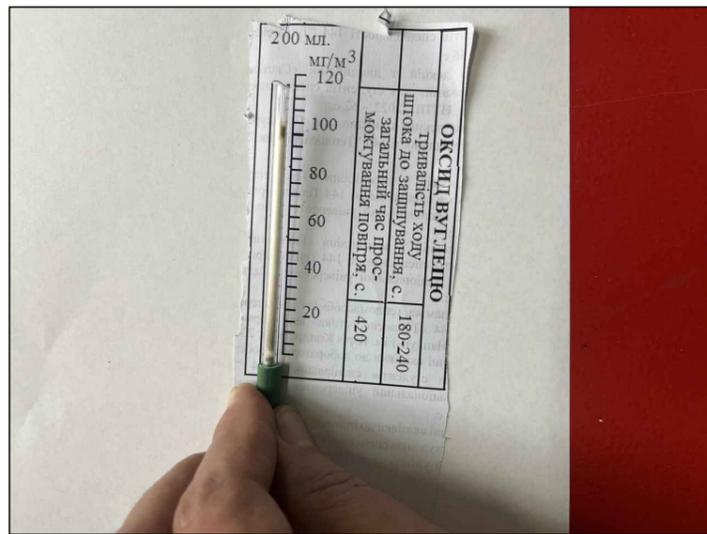
Удосконалена схема для відбору концентрованого СО



- 1 Підставка для тримання пробірка
- 2 Кран для випуску повітря
- 3 Шланг через який проходить газ
- 4 Ємність для забору газу
- 5 Пробірка для кислот
- 6 Ємність для води
- 7 Трубка для забору газу

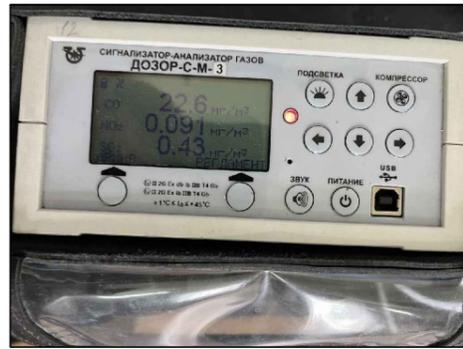
				2025	401-НТ-9476030			
					Дослідження способів зменшення СО при спалюванні твердих паливних сумішей			
Зм.	Кільк.	№ док.	Підпис	Дата	Схема установки для відбору концентрованого СО	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Нестеренко		2025		РП	4	7
Перевірив		Кутний Б.А.		2025		НУПП 401-НТ		

Зміна кольору індикаторів



			2025	401-НТ-9476030	Дослідження способів зменшення СО при спалюванні твердих паливних сумішей	Стадія	Аркуш	Аркуші в
Зм. Кільк.	№ док.	Підпис	Дата					
Розроб.	Нестеренко		2025	Зміни кольору індикаторів	НУПП 401-НТ	РП	5	7
Перевірив	Кутний Б.А.		2025					

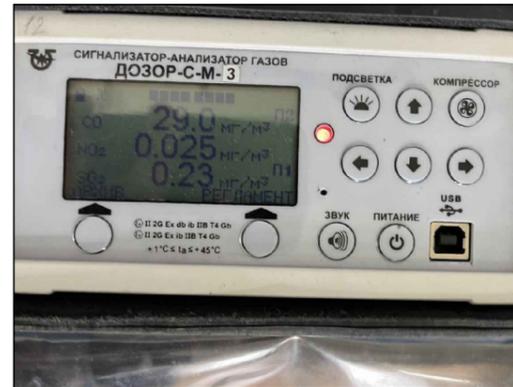
Результати отримані за допомогою газоаналізатора ДОЗОР С-М-3



Дослід 1



Дослід 2



Дослід 3



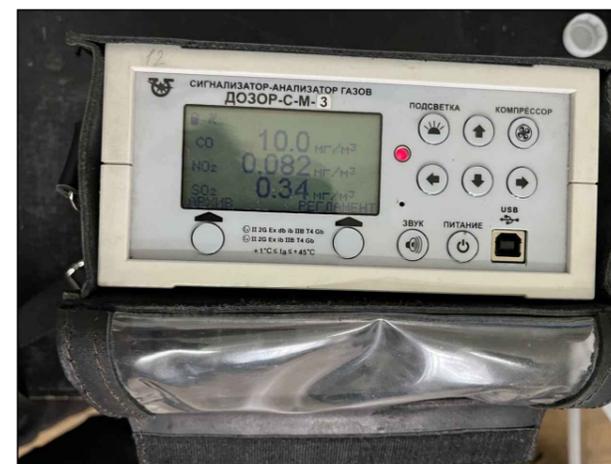
Дослід 4



Дослід 5



Дослід 6



Дослід 7



Дослід 8



Дослід 9



Дослід 10



Дослід 11



Дослід 12

				2025	401-НТ-9476030
					Дослідження способів зменшення СО при спалюванні твердих паливних сумішей
Зм. Кільк.	№ док.	Підпис	Дата		
Розроб.	Нестеренко		2025		Результати отримані за допомогою газоаналізатора ДОЗОР С-М-3
Перевірив	Кутний Б.А.		2025		Стадія
					Аркуш
					Аркуш в
					РП
					6
					7
					НУПП 401-НТ

Заміри за допомогою газоаналізаторів УГ-2 та ДОЗОР С-М-3



Обладнання яке використовувалося

- 1 Котел EURO THERM
- 2 Газоаналізатор УГ-2
- 3 Газоаналізатор ДОЗОР С-М-3
- 4 Термофени Procraft PH2300E
- 5 Мультиметр

				2025	401-НТ-9476030			
					Дослідження способів зменшення СО при спалюванні твердих паливних сумішей			
Зм.	Кільк.	№ док.	Підпис	Дата	Заміри за допомогою газоаналізаторів УГ-2 та ДОЗОР С-М-3	Стадія	Аркуш	Аркуші в
Розроб.		Нестеренко		2025		РП	7	7
Перевірив		Кутний Б.А.		2025		НУПП 401-НТ		