МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра теоретичної та прикладної хімії

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**
**за спеціальністю 102 «Хімія»**
**за освітньою програмою «Прикладна хімія»**

Тема роботи: «Хімічний моніторинг атмосферного повітря м. Суми»

Виконав
студент Вініченко Анастасія Ігорівна, гр. ПХ-01

Керівник
Пономарьова Людмила Миколаївна, канд. хім. наук, доцент

Підпис_____

Підпис_____

Захищена з оцінкою

_____
оцінка, дата

Секретар ЕК

_____
прізвище, підпис

Суми 2024

# РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 3 розділів і загальних висновків. Загальний обсяг роботи 57 сторінок, зокрема 22 рисунків, 9 таблиць, 23 літературних джерел.

Предметом бакалаврської кваліфікаційної роботи є вивчення моніторингу забруднення шкідливими речовинами повітря у м. Суми за попередні роки і порівняння з визначеними даними за 2023 рік.

Робота складається з трьох частин: 1. Літературний огляд; 2. Методика виконання експерименту; 3. Результати проведеного аналізу.

Об’єкт дослідження: Зразки повітря міста Суми, які були зібрані у 3 різних районах.

Головною метою цієї кваліфікаційної роботи є проведення моніторингу та визначення якості повітря в місті Суми на наявність шкідливих речовин за допомогою різних методів дослідження.

У роботі виконано хімічне визначення концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста Суми.

Ключові слова: моніторинг, моніторинг атмосферного повітря, ГДК домішок в повітрі, м. Суми, стан повітря м. Суми.

Ця робота була виконана у співпраці з лабораторією спостереження за забрудненнями атмосферного повітря Сумського обласного центру з гідрометеорології в межах договору про співпрацю № 0028/51.21-2023м.

## ABSTRACT

Bachelor's degree qualifying work consists of introduction, 3 sections and conclusions. The complete volume of work is 56 pages, including 22 pictures, 9 tables, 23 references.

The purpose of bachelor's degree qualifying work is the study of monitoring of air pollution with harmful substances in Sumy for previous years and comparison with certain data for 2023.

The work consists of three parts: 1. Literary review; 2. Method of experiment performance; 3. Results of the analysis.

The object of research is air samples of the city of Sumy, which were collected in 3 different areas.

The primary objective of this qualifying work is to monitor and determine the air quality in the city of Sumy for the presence of harmful substances using various research methods.

In this work a chemical determination of the concentration of pollutants in the atmospheric air of the city of Sumy.

Keywords: monitoring, monitoring of atmospheric air, MPC of impurities in air, Sumy, air condition, Sumy.

This work was carried out in cooperation with the laboratory for monitoring atmospheric air pollution of the Sumy Regional Center for Hydrometeorology under cooperation agreement No. 0028/51.21-2023m.

# ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ....5
ВСТУП....6
РОЗДІЛ 1: ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД....8
1.1. Атмосферне повітря: його стан, джерела забруднення та вплив на здоров'я людини....8
1.1.1. Стан атмосферного повітря....8
1.1.2. Джерела забруднення атмосферного повітря....9
1.1.3. Вплив забруднення повітря на здоров'я людини....12
1.2. Моніторинг забруднення повітря....14
1.3. Методи аналізу забруднюючих речовин у повітрі....17
1.3.1. Метод визначення маси частинок....18
1.3.2. Метод фотометричного визначення іонів....18
1.3.3. Електрохімічний метод....19
1.3.4. Турбодіметричний метод....19
РОЗДІЛ 2: МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ....20
2.1. Техніка безпеки під час роботи в хімічній лабораторії....20
2.2. Прилади та реактиви для аналізу....22
2.2.1. Матеріали для аналізу на пил....23
2.2.2. Матеріали для аналізу на сульфур (IV) оксид....23
2.2.3. Матеріали для аналізу на нітрат (IV) оксид....24
2.2.4. Матеріали для аналізу на вуглекислий газ....24
2.2.5. Матеріали для аналізу на нітрат (II) оксид....24
2.2.6. Матеріали для аналізу на формальдегід....25
2.2.7. Матеріали для аналізу на аміак....25
2.3. Методика проведення аналізу....26
2.3.1. Методика проведення аналізу проб на пил....26
2.3.2. Методика проведення аналізу проб на сульфур (IV) оксид....28
2.3.3. Методика проведення аналізу проб на нітрат (IV) оксид....30
2.3.4. Методика проведення аналізу проб на вуглекислий газ....32
2.3.5. Методика проведення аналізу проб на нітрат (II) оксид....35
2.3.6. Методика проведення аналізу дослідження проб на формальдегід....36
2.3.7. Методика проведення аналізу дослідження проб на аміак....38
РОЗДІЛ 3: РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННОГО АНАЛІЗУ....42
3.1. Підготовка та проведення аналізу....42
3.2. Обробка отриманих результатів....44
ВИСНОКИ....53
СПИСОК ДЖЕРЕЛ....55

# СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- ГО – громадська організація;
- ТЕС – теплові електростанції;
- ТЕЦ – теплоелектроцентралі;
- ГДК – гранично допустимі концентрації;
- ДСМД – Державна система моніторингу довкілля;
- ДМ – державний моніторинг;
- МОЗ – Міністерство охорони здоров’я;
- ДСНС – Державна служба з надзвичайних ситуацій;
- ДАЗВ – Державне агентство з управління зоною відчуження;
- Міндовкілля – Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів;
- ЛСЗА – лабораторія спостереження за забрудненням атмосферного повітря;
- ПСЗ – пост спостереження забруднення.

# ВСТУП

**Актуальність теми.** Будь-яка жива істота може прожити певний час без їжі чи води, але не коли розмова йдеться про повітря. Повітря – це те без чого жодна істота не може існувати та функціонувати. Тому чистота повітря, яким ми дихаємо, вважається важливим аспектом, який потрібно постійно контролювати для безпеки життєдіяльності людства. Таким чином, ми можемо прийти до висновку, що забруднення атмосферного повітря – це важлива та небезпечна проблема в сучасному світі, яка призводить до багатьох хвороб та великої кількості смертей кожного року.

У всьому світі та Україні питання моніторингу чистоти повітря стоїть гостро та актуально, як ніколи раніше. А для того, щоб слідкувати за чистотою повітря в Україні на законодавчому рівні були створені державні системи моніторингу, які ретельно та регулярно перевіряють стан атмосферного повітря в кожному регіоні на наявність певних частинок, котрі можуть бути характерними для того чи іншого району міста. Дані моніторингові системи контролюють такі види забруднень повітря як: пил, сульфур (IV) оксид, вуглекислий газ, нітроген (IV) оксид та багато інших.

Для визначення різних видів забруднень повітря з контрольного зразка користуються такими методам, як зважування частинок, фотометричний, електрохімічний та турбодиметричний методи.

**Мета дослідження:** Провести моніторинг та визначення якості повітря в місті Суми на наявність шкідливих речовин за допомогою різних методів дослідження.

**Для поставленого дослідження необхідно вирішити ряд задач:**

1) Провести літературний огляд
2) Ознайомлення з методичними рекомендаціями, щодо підготовки до відбору проб атмосферного повітря та підготовкою розчинів для аналізу
3) Ознайомитись з методами перевірки якості повітря на рівень вмісту в ньому певних шкідливих речовин.

4) Провести лабораторне дослідження для визначення чи є в отриманих зразках повітря певні шкідливі речовини в допустимих концентраціях.

5) Узагальнити усі отримані результати у вигляді діаграм та таблиць.

**Об’єкт дослідження:** Зразки повітря міста Суми, які були зібрані у 3 різних районах.

**Предмет дослідження:** вивчення моніторингу забруднення шкідливими речовинами повітря у м. Суми за попередні роки і порівняння з визначеними даними за 2023 рік.

**Методи дослідження:** Теоретичні методи, такі як аналіз, порівняння, бібліографічно-описовий та узагальнення, експериментальні: фотометричний метод, метод зважування частинок, турбодиметричний та електрохімічний методи та статистичний методи аналізу.

Дана робота була виконана у співпраці з лабораторією спостереження за забрудненнями атмосферного повітря Сумського обласного центру з гідрометеорології в межах договору про співпрацю № 0028/51.21-2023м від 01.12.2023 року.

Результати даного дослідження були представлені на конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві 2024» у вигляді доповіді під назвою «Моніторинг забруднення повітря міста Суми» [1].

# РОЗДІЛ 1: ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

## 1.1. Атмосферне повітря: його стан, джерела забруднення та вплив на здоров'я людини

### 1.1.1. Стан атмосферного повітря

У всьому світі спостерігається активне загострення такої проблеми як забруднення повітря. Ця проблема має сильний вплив на дуже велику кількість речей та факторів, що оточують нас довкола та особисто нас самих, бо повітря – це те без чого не може прожити будь-яка тварина, риба, рослина чи людина.

Стан атмосферного повітря погіршується продуктами людською діяльності, що не мають своїх аналогів або містяться в невеликих концентраціях у навколишньому середовищі, це все призводить до змін в природній системі, які вже спостерігаються не тільки на локальному рівні, а сягає планетарних масштабів [2]. Якщо розглядати наслідки забруднення повітря більш детально, то вони стосуються всього живого навколо нас. Це призводить до вимирання рідких рослин, тварин, танення льодовиків, що підводить до підвищення рівня води в океані та затоплення цілих міст та поселень людей, які живуть біля узбережжя. Також воно призводить до утворення певних аномалій та забруднень у воді та ґрунті.

Згідно звітів, які оприлюднено на сайті Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, середньодобова концентрація забруднювачів у повітрі в Україні збільшилась за останні 5 років. Для прикладу, можна розглянути візуальну аналітику громадської організації «SaveDnipro», які згідно з даними, що були взяті з сайту Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України візуалізували дані у вигляді графіків про вміст нітрат (IV) оксиду в містах України за 2023 рік. Саму візуалізацію, представлену в [3], можна побачити на рисунку 1.1 а і б.

**Рисунок 1.1** – Візуалізація ГО «SaveDnipro» середньодобової концентрації нітрат (IV) оксиду в місті: а) Києві та б) Суми [3].

Згідно з рисунків 1.1 а і б можна зробити висновок, що вміст $NO_2$ в повітрі перевищує гранично допустиму концентрацію. Ця візуалізація показує проблему забруднення повітря більш чітко та ясно для розуміння звичайним людям, котрі не мають певної освіти та не мають інформації про ГДК.

### 1.1.2. Джерела забруднення атмосферного повітря

Джерела забруднення повітря знаходяться у кожній частині нашого життя, не зважаючи на те, де саме ми знаходимось. Це може бути як і в приміщенні, де ми живемо чи працюємо, так і на відкритому повітрі. Забруднювачі повітря можуть вас застати не тільки в густонаселений містах та мегаполісах, а й в тихій та спокійній сільській місцевості [4]. Тому забруднення повітря можна поділити на дві основні групи – це природні та штучні. Класифікацію джерел можна побачити на рисунку 1.2.

**Природними** забруднювачами називають такі джерела забруднення, які відбуваються без втручання у це людини, але можуть регулюватись як і людиною, так і самою природою. Прикладами таких забруднювачів є виверження вулканів, степові та лісові пожежі та вивітрювання гірських порід та розкладання живих організмів [5].

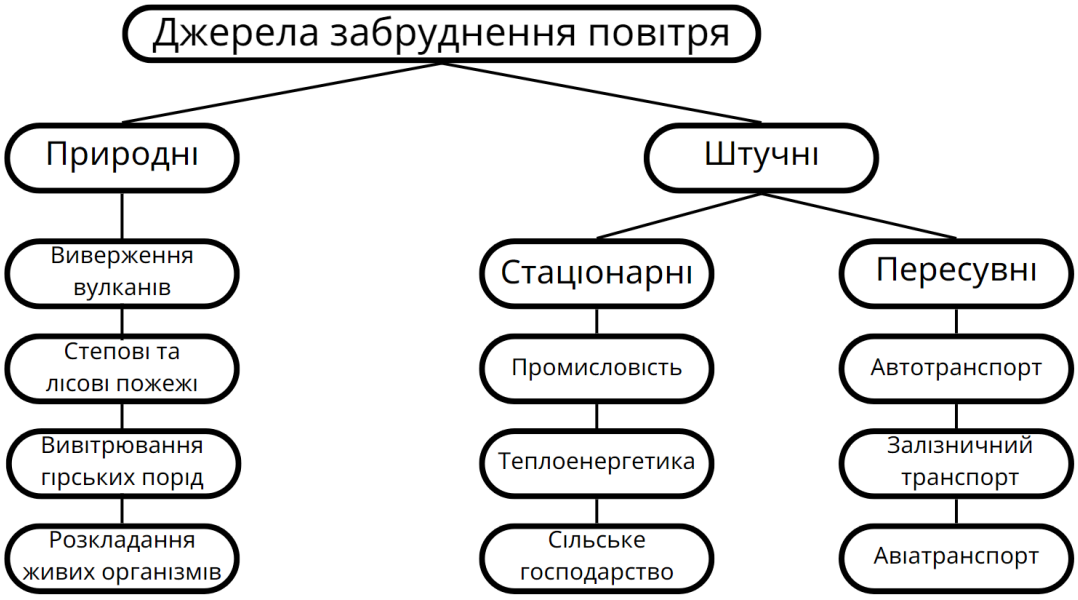


**Рисунок 1.2** – Класифікація джерел забруднення повітря

**Штучним** забрудненням повітря називають ті джерела, що знаходяться під впливом людей. Подібні забруднювачі безпосередньо пов’язані з викидами у процесі або ж внаслідок людської діяльності. Забруднювачі даного типу можна розподілити на декілька загальних групи: ті які пересуваються або коротко пересувні та стаціонарні, що встановлені в одній точці. Розглянемо кожну з підгруп окремо [6].

- Стаціонарні викиди

До даної підгрупи забруднювачів атмосферного повітря відноситься дуже велика кількість галузей промисловості, а саме підприємства, що виготовляють металеві вироби, заводи з виготовлення ліків та інші хімічні виробництва, де використовують хімічні реактиви, нафтова промисловість, заводи з виробництва будівельних матеріалів.

1. Металургійні виробництва – включають в себе чорну та кольорову металургію, машинобудування та металообробку.
2. Підприємства, які займаються виробництвом будівельних матеріалів;
3. Нафтова промисловість – це нафтопереробна та нафтохімічні виробництва.

4. Хімічні заводи – до цього поняття входять і заводи з виробництва ліків, добрив для сільськогосподарської продукції, виробництва з виготовлення та переробки полімерних матеріалів та багато іншого.

Усі ці виробництва викидають у повітря велику кількість речовин, зокрема, карбону (II) оксид та нітроген (II) оксиду, сульфідної кислоти, аміаку, сульфур (IV) оксиду, сполук фосфору, частинки важких металів та інших сполук, що погіршують стан атмосферного повітря і можуть нести загрозу людському життю.

До стаціонарних викидів відносяться не тільки заводи та виробництва, а і об’єкти критичних інфраструктур, без яких життя звичайної людини вже не буде таким комфортним та безтурботним, це теплоенергетика. До таких об’єктів ми можемо віднести:

1. Теплові електростанції (ТЕС), що генерують енергію методом спалення палива;

2. Теплоелектроцентралі (ТЕЦ), які разом із електроенергією виробляють і тепло, у вигляді гарячої води та пари.

Дані станції забруднюють навколишню атмосферу викидами, що містять в собі сульфур (IV) оксид, нітроген (II) оксид та саму з солями важких металів [6].

І останній, але не менш небезпечне джерело забруднення, що відноситься до стаціонарних забруднювачів – це сільське господарство. Забруднення повітря відбувається через використання фермерами добрив та інших хімічних речовин для покращення росту врожаю або для порятунку його від комах та жуків [7].

- Пересувні джерела забруднення

Пересувні викиди – є одним із найбільших джерел забруднення у світі, через його розповсюдженість серед нас. До цього типу забруднювачів ми можемо віднести автотранспорт, залізничний транспорт та авіатранспорт.

Небезпека пересувних забруднювачів в тому, що вони завжди поруч з людиною і число яких збільшується в геометричній прогресії, не збираючись спинятись. Через це визначення поширення забруднення у повітрі сильно

ускладнено інтенсивністю переміщення транспорту та сполученням доріг і перехресть, бо тоді автомобілі працюють в перемінних режимах, що дуже впливає на показники [6]. Тому можна вважати головною причиною забруднення в згорянні палива, за допомогою якого рухається будь-який автомобіль, потяг чи літак.

З аналізу літературних джерел, можна прийти до висновку, що автотранспорт – є найбільшим джерелом чадного газу, яким забруднюється атмосферне повітря та водночас є сильно токсичною сполукою для людського здоров'я. [8]

### 1.1.3. Вплив забруднення повітря на здоров'я людини

Забруднення навколишнього середовища, а особливо повітря, є найбільш вивченим та водночас небезпечним для здоров'я людини. За останні роки через суттєве збільшення кількості джерел забруднення та їх викидів у атмосферу спостерігається збільшення смертності та захворюваності серед населення. Саме тому існує **екологічна епідеміологія**.

**Екологічна епідеміологія** – вивчає наслідки впливу забруднень на здоров'я, під час перебування в забрудненому середовищі. Дослідження екологічної епідеміології для забрудненого повітря розподіляють на дві категорії:

1. Дослідження впливу на здоров'я, яке пов'язане з короткочасним перебуванням біля джерела забруднення. Мова може йти про години, дні та тижні.
2. Дослідження впливу на здоров'я після довгострокового перебування біля джерела забруднення, мова про роки, десятиліття або ж протягом усього життя.

Дані дослідження розглядають порівняння смертності та захворюваності перед, під час та після виникнення епізодів забруднення повітря або катастрофи, коли рівень забруднення навколишнього середовища сильно перевищує гранично допустимі концентрації [4].

Прикладом одного такого є дослідження смогу в Лондоні, який стався через викиди після спалювання вугілля для опалення будинків і в місто опустився смог, що містив в собі неймовірно велику концентрацію промислових, транспортних та побутових викидів. Ця катастрофа в 1952 році спровокувала загибель 4000 людей, а протягом кількох наступних тижнів загинуло ще близько 8000, основними жертвами даної катастрофи стали діти та літні люди [7]. Звісно, що подібні епізоди вже були, хоч і в менших масштабах. Наприклад в Бельгії в грудні 30-х років, США в 1948 році, але ця була однією з найфатальніших для людства і надала науковцям дані для проведення перших досліджень, надавши великий поштовх для розвитку наукових досліджень з аналізу якості повітря. Подібні дослідження досі актуальні в деяких регіонах світу, в яких досить великий та зростаючий рівень забруднення повітря [4].

Але також є певні верстви населення, які страждають від забруднення повітря більше ніж інші – це діти, літні люди та люди певними хворобами. Ці групи населення більш сприятливі до забруднень ніж здорова доросла людина, через особливості їхнього організму. Діти та немовлята більш уразливі до впливу забруднень через їх недорозвинену імунну систему та легені, оскільки чим більше часу вони проводять на вулиці та займаються активностями, тим більше стає ступінь ураження легень, тому вони показують більші показники захворюваності на респіраторні захворювання, такі як хронічний бронхіт, кашель та нападів астми. Щодо літних людей, то вони більш вразлива група через старіння, бо спостерігається зниження функціонування легень, ослаблення імунної системи та через наявність у деяких з них респіраторних та серцево-судинних хвороб. Також у більшій зоні ураження є люди з певними хворобами, такі як діабет, хронічні хвороби легень чи серцево-судинні захворювання. За останніми дослідженнями дані групи населення мають більший відсоток захворюваності та смертності в порівняннями зі здоровими дорослими людьми [4].

В Україні згідно з даними державної звітності та досліджень, що проводились спеціалістами свідчать про збільшення відсотка захворюваності та смертності серед населення через збільшення кількості викидів та подальше забруднення атмосферного повітря [9].

### 1.2. Моніторинг забруднення повітря

Для зменшення впливу забрудненого середовища на життя та здоров'я людини на теренах України на законодавчому рівні був запроваджений моніторинг стану забруднення середовища. Згідно Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [10] були створена державна система, що проводить моніторингові спостереження, дослідження, здійснюють стратегічну екологічну оцінку, оцінку впливу забруднення на навколишнє середовище та здійснюються контроль, прогнозування та інформування про рівня забруднення середовища аби певні забруднювачі не перевищили ГДК та не нашкодили людському здоров'ю [11].

Метою моніторингу забруднення середовища є контроль за дотриманням екологічних вимог підприємствами і проведення ефективних контрольних заходів у разі їх порушення у галузі охорони навколишнього середовища. [10]

Також існує постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 №391 «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля». Згідно даної постанови Кабінету Міністрів ДМ виконуються основні принципи функціонування ДСМД [12]. Основний акт, що регламентує моніторинг в галузі охорони атмосферного повітря – це постанова Кабінету Міністрів України від 09.03.1999 №343 «Про затвердження організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря». Згідно з даною постановою метою моніторингу атмосферного повітря є збирання, обробка, збереження та проведення аналізу проб атмосферного повітря, після отримання результатів дослідження проб проводять оцінку та прогнозування змін та ступеня небезпечності рівня забруднення повітря для прийняття рішень у галузь його охорони. [13].

Суб'єктами, що займаються моніторингом атмосферного повітря є Міндовкілля, МОЗ, ДСНС, ДАЗВ та виконавчі органи міської влади [12-13]. Кожен з даних суб'єктів виконує моніторинг тих об'єктів, які передбачені в «Положенні про державну систему моніторингу довкілля». Завдання суб'єктів моніторингу наведено в таблиці 1.1 [12].

**Таблиця 1.1** – Завдання суб'єктів моніторингу згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 №391 [12]:

| Суб'єкт моніторингу | Завдання |
|---|---|
| Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України | Займається організацією та координацією суб'єктів моніторингу |
| Міністерство охорони здоров'я України | Займається встановленням пунктів спостереження та проводять спостереження за рівнем забруднення та визначають впливи забруднень на життєдіяльність та здоров'я населення |
| Державна служба з надзвичайних ситуацій | Встановлюють стаціонарні пункти спостережень та спостерігають за рівнем забруднення, їх показниками та складовими атмосферних опадів через дані спостережень гідрометеорологічної служби |
| Державне агентство України з управління зоною відчуження | Встановлюють пункти спостережень та ведуть спостереження за рівнями забруднення у зоні відчуження та зоні обов'язкового відселення території, що також зазнала радіаційного забруднення |

Згідно постанов вище, моніторинг стану атмосферного повітря проводять обласні адміністрації згідно програми проведення моніторингу атмосферного повітря в Україні та за відповідними регіональними програмами. І в результаті

даного моніторингу визначають рівень забруднення повітря небезпечними сполуками, характерними для цього регіону через наявність в них певних виробництв, через які і відбувається витік забруднювачів в повітря. В додатку до постанови Кабінету Міністрів №343 є список загальнопоширених забруднюючих речовин в повітрі та інгредієнти атмосферних опадів, до цього списку входять такі речовини[13]:

1. Речовини, що забруднюють атмосферне повітря:

- Пил;
- Сульфур (IV) оксид;
- Карбон (IV) оксид;
- Нітроген (IV) оксид;
- Свинець та його неорганічні сполуки;
- Бенз(а)пірен;
- Формальдегід;
- Радіоактивні речовини.

2. Інгредієнти атмосферних опадів:

- Сульфати;
- Хлор;
- Азот амонієвий;
- Нітрати;
- Гідрокарбонати;
- Натрій;
- Калій;
- Кальцій;
- Магній;
- pH;
- Кислотність.

В місті Суми, як і по всій територіях, окрім тимчасово окупованих територій, проводяться моніторингові спостереження за рівнем забруднення повітря лабораторією спостереження за забрудненнями атмосферного повітря (далі – ЛСЗА). Дана лабораторія – це структурний підрозділ Сумського обласного центру з гідрометеорології та проводять багаторічні, моніторингові спостереження за рівнем забруднення атмосферного повітря міста.

У місті вимірюються показники таких забруднювачів, як пил, сульфур (IV) оксид, вуглекислий газ, нітроген (IV) оксид, нітроген (II) оксид, розчинні сульфати, аміак, формальдегід та важкі метали. До категорії важкі метали, які підлягають до аналізу в місті Суми входять такі метали, як залізо, кадмій, манган, свинець, цинк, нікель, хром та мідь. І на основі отриманих результатів, роблять висновок щодо стану повітря у вигляді щорічних звітів.

Окрім державних ЛСЗА, також існують незалежні станції спостереження, які поставили громадські організації та органи самоврядування. Прикладом подібної ситуації є станції спостереження, що були встановлені ГО «SaveDnipro», які в реальному часі відображають отримані дані на сайті [14]. На даному сайті відображаються дані про рівень забруднення сульфур (IV) оксидом, нітроген (IV) оксиду, озону та карбон (II) оксиду, також там можна слідкувати за рівнем радіаційного забруднення атмосфери і напрямком вітру.

### 1.3. Методи аналізу забруднюючих речовин у повітрі

Відбір проб атмосферного повітря та їх аналіз на вміст шкідливих речовин в них проводяться згідно з «Керівництвом з контролю забруднення атмосфери» РД 52.04.186-89 [11]. Даний стандарт був затверджений у 1991 році та термін дії якого подовжений, згідно з Переліку галузевих стандартів та інших нормативних документів колишнього СРСР і використовуватимуться в гідрометеорологічній до 1 січня 2025 року.

За цим керівництвом проводиться збирання проб атмосферного повітря та його аналіз на рівень вмісту різних домішок. Забруднювачі, рівень яких контролюють в місті Суми є такими:

- Пил;
- Сульфур (IV) оксид;
- Карбон (IV) оксид;
- Нітроген (IV) оксид;
- Нітроген (II) оксид;
- Розчинні сульфати;
- Аміак;
- Формальдегід;
- Важкі метали.

Для визначення рівня вмісту даних забруднювачів, використовуються такі методи, як:

• Метод визначення маси частинок, які не пройшли через тканинний фільтр;

• Метод визначення заснований на захоплені частинки з повітря на плівковий хемосорбент і фотометричному визначенні іонів;

• Електрохімічний метод, за допомогою газоаналізаторів;

• Метод визначення маси турбодиметричним методом;

• Метод заснований на виловлюванні формальдегіду з повітря розчином сірчаної кислоти та його визначення фотометричним методом. [15]

Розглянемо трохи детальніше кожен з методів, що ми будемо використовувати для аналізу, але всі з них використовуються для визначення середньодобову та разову концентрацію домішки-забруднювача в пробі атмосферного повітря.

### 1.3.1. Метод визначення маси частинок

Метод заснований на визначенні маси зважених частинок пилу, що затримані фільтром з тканини ФПП при проходженні через нього повітря [15].

### 1.3.2. Метод фотометричного визначення іонів

Даний метод використовується для визначення формальдегіду, сульфур (IV) оксиду та нітроген (IV) оксиду, нітроген (II) оксиду та аміаку в пробі повітря.

Фотометричний метод аналізу – це метод, що базується на вимірах значень поглинання, розсіювання чи пропускання світла через досліджувану пробу [16].

### 1.3.3. Електрохімічний метод

Використовується для визначення вмісту вуглекислого газу в пробі. Цей метод базується на процесах, що відбуваються на електродах чи між електродом простору. В цьому методи використовується електричний вплив, що передає результати у вигляді електричних сигналів, що забезпечують електрохімічному методу високу точність результатів [16].

### 1.3.4. Турбодіметричний метод

За допомогою даного методу визначають розчини сульфатів у пробі повітря. В цьому методі проводяться виміри потужності світла, що проходить з кювети в напрямку падаючого пучка світла. При проходженні світла крізь досліджуваний розчин відбувається бокове розсіювання світла, також є важливим те, яка саме довжина хвилі, що проходить через розчин. Якщо вона більша ніж розмірів частинок, то відбувається ефект Тіндаля, якщо менша – розсіювання проходить на межі поділу частика-розчинник [17].

# РОЗДІЛ 2: МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

## 2.1. Техніка безпеки під час роботи в хімічній лабораторії

Найважливішою частиною, окрім вивчення методики проведення роботи, є вивчення техніки безпеки перед та під час роботи в хімічній лабораторії. Даний інструктаж проводиться безпосередньо науковим керівником та оформлюється в спеціальному журналі.

Під час роботи використовуються велика кількість різноманітних хімічних речовин, хоч і в певних, зазначених в стандартах дозах та різні прилади, щоб визначити вміст домішок у пробах повітря. Але невеликі дози речовин та використання приладів не виключає ймовірність нещасних випадків, але зводить цей рівень до мінімуму, тому в хімічній лабораторії обов'язково варто слідувати певним правилам:

1. По-перше, потрібно в узагальненому порідку знати місцезнаходження аптечка для надання першої медичної допомоги, вогнегасник чи протипожежне волокно та засоби індивідуального засобу.

2. Знаходитись в лабораторії без верхнього одягу та не тримати на робочому місці та поверхні сторонніх речей.

3. В приміщенні лабораторії не вживати їжі, води та заборонено палити. Також під час самої роботи не можна коштувати реагенти та розчини, нюхати речовини потрібно направляючи гази та пари рухом руки. В хімічній лабораторії в обов'язковому порядку потрібно вважати всі речовини за отруйні та не коштувати їх на смак.

4. Перед початком роботи в лабораторії обов'язково ознайомитись зі змістом роботи та не виконувати досліди, які не передбачені в методичних рекомендація, згідно з якими і проводиться робота.

5. При виконанні дослідів та роботі з приладами дотримуватись порядку та чистоти на робочому місці. Не використовувати під час аналізу та змішування розчинів забруднений хімічний посуд та шпателі, піпетки та інше. Після кожного досліду необхідно ретельно вимити хімічний посуд та поставити в сушку.

6. Заборонено набирати речовину в піпетки за допомогою рота, використовувати лише спеціальні дозатори чи гумові груши. Рівень відібраного розчину, споглядають тоді, коли мітка на шкалі відповідає нижньому краю меніска, коли піпетка перебуває на рівні очей. Після того як у піпетку набраний об'єм розчину потрібного для досліду, тоді закривають отвір вказівним пальцем.

7. Після переливання розчину з піпетки у стакан, потрібно торкнутись кінчиком піпетки до стінки стакану аби вийшли залишки рідини. Ні в якому разі не можна видувати залишки рідини ротом.

8. Використовуваний посуд для змішування розчинів слід заповнювати на 1/8 або на 1/4 від повного об'єму посудини. Реактиви перемішують тримаючи посудину трьома пальцями: великим, вказівним, середнім. Заборонено закривати отвір хімічного посуду пальцями.

9. Заборонено залишати змішані реактиви в склянках без етикеток. Також заборонено використовувати під час дослідів та роботи з приладами реактивами, що не підписані або мають сумнівне маркування.

10. Не можна залишати склянки і ємності з реактивами відкритими і плутати їх кришки/корки з-під ємностей з реактивами, пересипати просипаний реактив назад у ємність також заборонено. Взятий надлишковий реактив заборонено переливати до склянки з чистим реагентом або сумішшю, весь надлишок або просипане варто вилити/пересипати у спеціальні посуд для зливу.

11. Під час нагрівання суміші, на початку потрібно прогріти пробірку і після цього нагрівати суміш поступово та направляючи окритий отвір від себе. Заборонено заглядати в отвір пробірки, що нагрівається [18]. Саме нагрівання проводиться під витяжною шафою. Переносити нагрітий посуд потрібно за допомогою рушників, а великий посуд потрібно тримати не лише рушником, а і тримаючи посудину обома руками, закривати нагріту посудину суворо заборонено [19].

12. Робота з концентрованими розчинами кислот, лугів і розчинами інших їдких чи летких речовин потрібно працювати обережно та під включеною

витяжною шафою. Залишки даних речовин суворо заборонено зливати у раковину. Тримати концентровані і леткі розчини у витяжні шафі, на піддоні в якісному та міцному посуді, великі бутилі з подібними розчинами мають зберігатися у кошиках. Розведення концентрованих розчинів проводиться у тонкошаровому скляному посуді, концентрований розчин потрібно додавати до води невеликими порціями за допомогою лійки.

13. У випадку, якщо щось розбилось під час роботи над дослідом необхідно негайно прибрати. Заборонено виливати в раковину залишки реагентів таких як: кислоти, луги, легкозаймистих речовин та інше [18].

14. Електроприлади повинні знаходитись на поверхні чи піддоні, які виготовлені з термоізоляційному матеріалі. Під час роботи з приладами першочергово необхідно запевнитись в справності цих приладів, чи підключені вони до електромережі через розетку.

15. Під час використання електроприладів їх не можна переносити чи залишати без нагляду, це правило також стосується і приладів чи установок за допомогою яких проводиться нагрівання розчинів та сумішей. У випадку припинення електропостачання до приладу з будь-якої причини потрібно негайно відключити прилад з мережі [19].

16. У випадку поламки електроприладу або іншого обладнання, що використовується під час дослідів в першу чергу потрібно повідоми про це керівнику. У разі поломки витяжної шафи необхідно негайно припинити роботу з концентрованими, леткими чи їдкими речовинами.

17. Після закінчення роботи обов’язково потрібно прибрати на робочому місці та вимкнути з мережі усі електроприлади, що використовувались під час роботи та вимкнути витяжну шафу [18].

### 2.2. Прилади та реактиви для аналізу

Проби які будуть аналізуватись на вміст беруться з трьох точок в місті Суми спеціально сформованою лабораторією спостереження, що відновиться до структурного підрозділу Сумського обласного центру з гідрометеорології.

Аналізи, які проводяться з пробами повітря, перевіряють на вміст таких домішок як: пил, сульфур (IV) оксид, нітрат (IV) оксид, вуглекислий газ, нітрат (II) оксид, сульфатну кислоту та сульфати, формальдегід та аміак. Все обладнання та реактиви, що використовуються для визначення кожної з домішок розписані в підпунктах нижче. Також важливо зазначити, що калібрування та змішування розчинів, що використовуються змішуються згідно дійсних державних стандартів, що вказані у РД 52.04.186-89 [15] .

### 2.2.1. Матеріали для аналізу на пил

Визначення в повітрі концентрації пилу проводять методом зважування частинок. Тому для даного досліду потрібні таке обладнання:

- *Прилади:* аналітичні ваги, електроаспіратор ЄА-2, ЄА-2С (похибка ±5-6%), анеморумбограф М-63МР та барометр-анероїд М-67.
- *Матеріали:* фільтри з ущільненим відпресованої тканини ФПП-15 с діаметром робочої поверхні 69,4 мм та фільтри АФА-ВП-20 [15].

### 2.2.2. Матеріали для аналізу на сульфур (IV) оксид

Визначення проводять методом виловлюванням сульфур (IV) оксиду плівковим сорбентом та його фотометричному визначенні. Для цього потрібні такі обладнання та реактиви:

- *Прилади:* Фотоколориметр чи спектрофотометр та аналітичні ваги.
- *Допоміжні прилади:* Сорбційна трубка СТТ-112 (з маркуванням 1) або СТ-212 з маркуванням 2, стакан В-1-50 ТС та холодильник.
- *Реактиви:* Бутан-1-ол, дистильована вода, перекис водню, гліцерин, розчин йоду 0,05 моль/л, калій йодид, ортофосфорна кислота 87% ($\rho$ = 1,719 г/см$^3$), хлоридна кислота 24% ($\rho$ = 1,19 г/см$^3$), сульфамінова кислота, трилон-Б (комплексон ІІІ), крохмаль, натрій ацетат тригідрат, натрій гідроксид, натрій гідроксид 0,1 моль/л, натрій сульфід дев’ятиводний, натрій піросульфіт, натрій сульфіт, натрій тіосульфат 0,1 моль/л (0,1 н), натрій хлорид, хлорпромазин гідрохлорид, оксид ртуті, формальдегід 40% (формалін), етиленгліколь [15].

### 2.2.3. Матеріали для аналізу на нітрат (IV) оксид

Визначення концентрації нітрат (IV) оксиду проводиться тим самим методом, що і для сульфур (IV) оксиду, виловлюванням домішки плівковим сорбентом і проводять аналіз проб фотометричним методом, але для цього використовують трохи інший набір обладнання.

- *Прилади:* фотоколориметр, аналітичні ваги, секундомір, термометр, барометр-анероїд М-67, електроаспіратор ЄА-1 (похибка ±10%).
- *Хімічний посуд:* мірні колби 100 мл – 3 шт., 50 мл – 8 шт., піпетки на 1 мл – 4 шт., на 5 мл – 2 шт., на 10 мл – 1 шт..
- *Допоміжні прилади:* сорбційні труби СТ 112 з маркуванням 2.
- *Реактиви:* калій йодид, сульфанілова кислота, оцтова кислота, натрій гідроксид, натрій нітрит, натрій гідроарссеніт або натрій метаарсеніт, 1-нафтиламін, етиленгліколь [15].

### 2.2.4. Матеріали для аналізу на вуглекислий газ

Аналіз з визначення концентрації проводять електрохімічним методом. Для цього потрібен такий набір приладів та реактивів:

- *Прилади:* газоаналізатор «Паладій-2М» і «Паладій-3».
- *Реактиви для виготовлення 50 см$^3$ легкої вогнетривкої цегли розміром 1-2 мм:* 12,5 мл концентрованої хлоридної кислоти, 2,5 г хромового ангідриду, 1,5 г азотнокислої ртуті [15].

### 2.2.5. Матеріали для аналізу на нітрат (II) оксид

Дослідження проводять виловлюванням утвореного нітрат (II) оксиду на плівковий хемосорбентом та його фотометричному аналізі. Для цього потрібно:

- *Прилади:* фотоколориметр, аналітичні ваги, секундомір, термометр, барометр-анероїд М-67, електроаспіратор ЄА-1 (похибка ±10%).
- *Хімічний посуд:* мірні колби 100 мл – 3 шт., 50 мл – 8 шт., піпетки на 1 мл – 4 шт., на 5 мл – 2 шт., на 10 мл – 1 шт..

- *Допоміжні прилади:* сорбційні труби СТ 112 з маркуванням 2 і сорбційна скляна колонка(трубка з довжиною 150 мм і внутрішнім діаметром 20 мм з патрубками зовнішнім діаметром 9 мм).

- *Реактиви:* інертний пористий носій з розміром частинок 0,3-0,5 мм, натрій ацетат, триетаноламін, хром (IV) оксид, калій йодид, сульфанілова кислота, оцтова кислота, натрій гідроксид, натрій нітрит, натрій гідроарссеніт або натрій метаарсеніт, 1-нафтиламін, етиленгліколь [15].

**2.2.6. Матеріали для аналізу на формальдегід**

Формальдегід, його наявність та концентрація у пробі повітря перевіряється за допомогою метода з фенілгідразином. Під час даного дослідження використовують такі матеріали та обладнання:

- *Прилади:* фотоколориметр, аналітичні ваги, секундомір, термометр, барометр-анероїд М-67, електроаспіратор ЄА-1 (похибка ±10%).

- *Хімічний посуд:* мірні колби 100 мл – 12 шт., 1000 мл – 2 шт., піпетки на 1 мл – 1 шт., на 5 мл – 2 шт., на 10 мл – 3 шт., на 2 мл – 4 шт., бюретка на 25 мл – 1 шт..

- *Допоміжні прилади:* поглинаючі прилади Ріхтера.

- *Матеріали:* Трубка резинова вакуумна та фільтри «Синя стрічка».

- *Реактиви:* дистильована вода, йод 0,05 моль/л (0,1 н), сульфатна кислота, хлоридна кислота 24% ($\rho$ = 1,19 г/см$^3$), крохмаль, натрій гідроксид, натрій тіосульфат 0,1 моль/л (0,1 н), етиловий спирт, фенілгідразин сульфанокислий, формальдегід 40% (формалін), хлорамін [15].

**2.2.7. Матеріали для аналізу на аміак**

Визначення наявність та концентрацію у повітрі також домішки, як аміаку, за методом дуже подібне до визначення таких речовин як сульфур (IV) оксиду, нітрат (IV) оксиду та нітрат (II) оксиду, але зі своїми делікатними моментами та реактивами.

- *Прилади:* фотоколориметр, аналітичні ваги, секундомір, термометр, барометр-анероїд М-67, електроаспіратор ЄА-1 (похибка ±10%).

- *Хімічний посуд:* мірні колби 50 мл – 7 шт., 100 мл – 5 шт., 1000 мл – 1 шт., піпетки на 1 мл – 5 шт., на 5 мл – 3 шт., на 10 мл – 2 шт., на 2 мл – 2 шт., на 25 мл – 1 шт., бюретка на 25 мл – 2 шт..
- *Допоміжні прилади:* Сорбційні труби СТ 112(маркування 1), фільтротримач для фільтрів АФА-В-10 та воронка Бюхнера.
- *Матеріали:* фільтри АФА-В-10, трубка резинова вакуумна та фільтри «Синя стрічка».

*Реактиви:* Амоній хлорид, дистильована вода, гліцерин, хлорне вапно, саліцилова кислота, сульфатна кислота 93% ($\rho$ = 1,83 г/см$^3$), крохмаль, натрій гідроксид, натрій тіосульфат 0,1 моль/л (0,1 н), натрій нітропрусид, натрій карбонат, сильнокислий катіоніт та фенол [15].

### 2.3. Методика проведення аналізу

Проведення хімічного аналізу відбувається згідно зі стандартом РД 52.04.186-89 «Керівництво з контролю забруднення атмосфери», який затверджений на державному рівні до 2025 року та згідно з яким проводять офіційні перевірки проб атмосферного повітря в місті Суми лабораторія спостереження Сумського обласного центру з гідрометеорології.

#### 2.3.1. Методика проведення аналізу проб на пил

Методика проведення аналізу для визначення масової концентрації пилу в атмосферному повітрі. Ця методика використовуються в хімічній лабораторії для визначення разової та середньодобової концентрацій пилу при певних витратах повітря.

Метод, яким користуються для визначення концентрацій пилу у повітрі – це метод зважування частинок. Він заснований на визначенні маси зважених частинок, що затримані фільтром тканини ФПП після того, як через цей фільтр пройшов певний об’єм повітря.

*1. 1. Підготовка до проведення аналізу*

1.1. Фільтри, що використовуються для відбору проб пилу повинні бути пронумеровані. Порядкові номери на фільтрах пишуться олівцем на ущільнену

кільцеву частину кожного з тканинних фільтрів або ж на паперове кільце фільтра АФА.

1.2. Перед тим, як відбирати проби фільтр необхідно зважити на аналітичних вагах, також потрібно не менш години витримати фільтр у приміщенні, де і відбувається зважування. Аби не пошкодити робочу поверхню фільтра при виконанні усіх операцій його необхідно брати пінцетом за край.

1.3. Зважені чисті фільтри вкладають в пакети з кальки, ці пакети кладуться в поліетиленові пакети, на яких ручкою пишуть номери фільтрів та їх початкову масу. Всі підготовлені фільтри передаються спостерігачам для відбору проб атмосферного повітря.

*2. Методика виконання аналізу*

2.1. Відбір проб для виконання хімічного аналізу визначення середньодобової концентрації виконується безперервно з питомими витратами 5 $дм^3/(хв*см^2)$ за 24 години або при більшій запиленості відбір виконується циклічно по 20 хвилин через однакові проміжки часу. Для визначення разової концентрації пилу в повітрі відбір проводять протягом 20-ті хвилин.

Фільтр з відібраною пробою обережно виймають з фільтротримача, складають навпіл, запиленою стороною всередину і поміщають назад у пакет із кальки і в поліетиленовий пакет, за номером який був вказаний під час підготовки та позначають на ньому: назву та номер міста, дату та час відбору проби, початкове та кінцеве значення газового лічильника(або витрату повітря і тривалість відбору проби згідно ротаметру), температуру повітря, що проходило через лічильник та атмосферний тиск під час відбору проби. Після цього усі фільтри з пробами повітря передають для аналізу в хімічну лабораторію.

2.2. Перед фінальним зважуванням потрібно не менш ніж на годину витримати фільтри в приміщенні, де відбувається зважування. У тому випадку, якщо відбір проби відбувався, коли вологість повітря була близькою до 100%, то сам фільтр доводять до постійної маси. Для цього його необхідно помістити в скляній чашці в ексикатор зі розплавленим кальцій хлоридом на 2 години або

помістити в сушильну шафу при температурі 40-50 $^{o}$C на 30-50 хвилин, а потім витримати 50 хвилин у приміщенні, де відбуватиметься зважування. У тому випадку, коли маса все одно буде змінюватись необхідно повторити процедуру просушування.

2.3. Фільтри з пробами пилу, які вже зважили, поміщають назад у ті самі пакети з кальки та поліетилену, на яких підписують ручкою значення кінцевої маси фільтра з пилом. У випадку, якщо після зважування фільтри не відправляють на аналіз, для перевірки на наявність інших елементів, тоді після занесення результатів до робочого журналу, фільтри ретельно запаковують в кальку та залишаться на безтермінове зберігання [15].

**2.3.2. Методика проведення аналізу проб на сульфур (IV) оксид**

Метод відбору проб на плівковий хемосорбент необхідний для з'ясування концентрації сульфур (IV) оксиду в атмосферному повітрі в містах та населених пунктах в межах діапазону 0,05 – 1,00 мг/м$^3$ при об'ємі проби 10 дм$^3$.

Даний метод заснований на виловлюванні $SO_2$ плівковим хемосорбентом на основі натрій тетрахлормеркурата та його визначення фотометричним методом, за допомогою сполуки що утворюється при взаємодії сульфур (IV) оксиду з формальдегідом та парарозаніліном.

*1. Підготовка до проведення вимірів*

1.1. У першу чергу потрібно підготувати розчини: сульфатної кислоти концентраціями 10 моль/л, 1 моль/л, 0,1 моль/л; натрій тетрахлормеркурат 0,04 моль/л; сульфамінова кислота з концентраціями 0,03%, 0,6% розчини; формальдегід 0,2% розчин; розчин ортофосфорної кислоти з концентрацією 1 моль/л; 0,2 % розчин та робочий розчин парарозаніліна; розчини йоду з концентраціями 0,05 моль/л, 0,005 моль/л; розчин крохмалю 0,02%; натрій тіосульфат з концентраціями 0,1 моль/л, 0,01 моль/л; стандартний та робочий розчини підросульфату натрію; розчин для обробки сорбційних трубок.

1.2. Встановлення градуювальних характеристик

Для даного досліду градуювальний графік представляє з себе залежність оптичної густини від маси сульфур (IV) окисду в пробі. Калібрувальні розчини готують в мірних колбах об'ємом 100 мл. Відповідність маси $SO_2$ в 5 мл розчину до його об'єму показаний в таблиці 2.

**Таблиця 2.1** – Відповідність маси $SO_2$ в 5 мл розчину до його об'єму [13]:

| Номер розчину | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Об'єм робочого розчину (ρ = 10 мкг/мл), мл | 0,2 | 1 | 2 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| Маса $SO_2$ в 5 мл розчину, мкг | 0,1 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 |

Для побудови градуювального графіку в кожну пробірку відбирають по 5 мл розчину для градуювання та додають по 0,2 мл 0,6% сульфамілової кислоти, перемішують та залишають на 10 хвилин. Потім додають 0,4 мл формальдегіду і 1 мл розчину пararозанілину, знову ретельно перемішують та залишають на 30 хвилин. Виміри оптичної густини проводять у кюветах з робочими гранями 10 мм та при довжині хвилі 548 нм. Час коли від додавання останнього реактиву до виміру оптичної густини має бути однаковим.

Також разом із цим проводять виміри оптичної густини нульового розчину, який містить в собі ті ж самі розчини, окрім $SO_2$ та готується так само.

1.3. Підготовка собційних труб до відбору проб

Труби, які будуть використовуватися для відбору проб, обробляють абсорбційним розчином, потім протирають фільтрувальним папером. Одразу після цього закривають заглушками та поміщають їх в поліетиленові пакети та транспортують до місця відбору проб.

1.4. Відбір проб повітря

При відборі закріплена сорбційна трубка повинна бути у вертикальному положенні зі шаром сорбенту внизу. Легким постукуванням сорбційної трубки об дерев'яну поверхню шар сорбенту ущільняється це потрібно зробити перед відбором проб. Під час відбору проби повітря має йти знизу в гору. Відібрані проби необхідно захищати від потрапляння на них сонячного світла і одразу після відбору необхідно закрити отвори заглушками та помістити до холодильника.

*2. Методика виконання аналізу*

Після транспортування трубок до хімічної лабораторії їх поміщають у пробірки та заливають 6 мл розчину 0,03% сульфамінової кислоти. Після цього робиться прокачування розчину через сорбент за допомогою резинової груші, переводять пробу повітря до розчину та виймають трубку.

Для аналізу відбирають 5 мл розчину, доливають до нього 0,4 мл формальдегіду та 1 мл розчину парарозаніліну, розчин ретельно перемішують і після того, як розчин постояв 30 хвилин проводять фотометричний аналізу відносно води.

Одночасно з пробами підготовлюють три нульових розчини, для цього оброблені спеціальним розчином трубки, поміщають у пробірки та аналізують, як і проби. Масу $SO_2$ знаходять за допомогою градуювального графіку за різницею оптичних густин розчинів проби та нульового [15].

**2.3.3. Методика проведення аналізу проб на нітрат (IV) оксид**

Дана методика призначення для визначення концентрації нітрат (IV) оксиду в пробах, що збирались у населених пунктах в діапазоні 0,02 – 1,40 мг/м$^3$ при об’ємі проби в 5 мл.

Метод заснований на виловлюванні нітрат (IV) оксиду з повітря з використанням плівкового хемосорбенту та його фотометричному визначенні утвореного нітріт-іону, що утворився при взаємодії нітріт-іону з сульфаніловою кислотою та 1-натиламіном.

*1. Підготовка до проведення вимірів*

Першочергово потрібно приготувати розчини. Розчин для обробки сорбційних трубок, для цього 40 г калій йодиду розчиняють в 35 мл дистильованої води та додають 15 мл етиленгліколю. Окремо ще розчиняють в 10 мл води 0,177 г натрій гідроортоарсеніту і 0,042 натрій гідроксиду та звивають обидва ці розчини. Отриманий розчин зберігається в темному місті протягом двох тижнів. Також потрібно приготувати розчини 12% розчин оцтової кислоти; сульфанілова кислота; 1-нафтиламін; складовий реактив, до якого входить

сульфанілова кислота та 1-нафтиламін у співвідношенні 1:1; розчин натрій нітриту для градуювання (ρ = 1 мг/см$^3$), робочі розчини А і Б з густинами 10 мкг/см$^3$ і 1 мкг/см$^3$ відповідно та їх готують безпосередньо перед самим використанням.

1.2. Встановлення градуювальної характеристики

Розчини для градуювання готують у мірних колбах об'ємом 50 мл. Для даних розчинів в кожну з колб наливають 25-30 мл дистильованої води, додають робочий розчин об'ємом згідно з таблицею 3 та по 2 мл розчину для обробки сорбційних труб. Доводимо до мітки дистильованою водою та ретельно перемішують.

**Таблиця 2.2** – Співвідношення об'ємів розчину для приготування розчинів встановлення градуювальної характеристики для встановлення концентрації сульфур (IV) оксиду:

| Номер розчину | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Об'єм робочого розчину, мл | ρ = 1 мкг/мл | 1 | 2 | 4 | 8 | - | - | - |
| | ρ = 10 мкг/мл | - | - | - | - | 2 | 4 | 6 |
| Маса $SO_2$ в 5 мл розчину, мкг | $NO_2$ | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 2,0 | 4,0 | 6,0 |
| | NO | 0,065 | 0,13 | 0,26 | 0,52 | 1,3 | 2,6 | 3,9 |

Щоб встановити градуювальну характеристику потрібно відібрати по 5 мл розчинів в пробірки при інтервалі в 1-2 хвилини доливають по 0,5 мл складового реактиву, все це збовтують та залишають на 20 хвилин. Потім проводять фотометричне визначення оптичної густини відносно води в кюветах з гранями 10 мм при довжині хвилі 520 нм. Нульовий розчин готують змішуючи 5 мл дистильованої води з 0,2 мл розчину для обробки сорбційних трубок і 0,5 мл складового реактиву.

Середнє значення оптичної густини не має бути вище ніж значення 0,02, в іншому випадку необхідно перевірити чистоту посуду в якому проводився аналіз та якість реактивів, що використовувались.

1.3. Підготовка сорбційних трубок

Обробка чистих труб, що використовуються для відбору проб або ті які використовують в якості нульових проходить з використанням 0,3 мл абсорбуючого розчину та ретельно протирають його фільтрувальним папером ззовні і зачиняють пробками. Після цього оброблені трубки поміщають у поліетиленовий пакет, але їх не можна зберігати більше одного тижня.

1.4. Відбір проб для аналізу

Спочатку сорбційну трубку фіксують у вертикальному положенні з шаром сорбенту внизу, повітря має проходити знизу вгору. Виміри для визначення разової концентрації проводяться при температурі від -30 до 40 °С протягом 20 хвилин, а для середньодобової концентрації відбирається по 4-8 проб за 24 години. Відібрані проби можна зберігати протягом 20 діб.

*2. Методика проведення досліду*

Сорбційну трубку вносять у пробірку та доливають туди 6 мл води, шляхом кількох прокачувань гумовою грушою через сорбент аби перевести пробу в розчин та виймають трубку з пробірки. Щоб провести сам аналіз, необхідно перенести 5 мл проби в іншу пробірку, додати до неї 0,5 мл складного реактиву, перемішують та залишають на 20 хвилин. Після цього вже можна визначити оптичну густину проби. Масу нітрат (IV) оксиду знаходять за градуювальною характеристику за різницею оптичної густини проби та нульового [15].

**2.3.4. Методика проведення аналізу проб на вуглекислий газ**

Метод визначення концентрації вуглекислого газу в пробах атмосферного повітря заснований на методі потенціостатестичної амперметрії, що полягає у вимірюванні струму при електрохімічному окисненні карбону на робочому електроді трьохелектродної електрохімічної комірки при постійному потенціалі.

*1. Визначення факторів, що впливають на виміри, перед встановленням газоаналізатору*

Під час використання газоаналізаторів для визначення концентрації вуглекислого газу дуже велику похибку для фінального значення мають умови в яких проводяться ці аналізи. При використанні газоаналізаторів у складі автоматизованих систем виконання умов за температурою та вологості виконуються автоматично системою життєзабезпечення. Саме тому перед встановленням газоаналізатора обов'язково необхідно визначити діапазон зміни температури та вологості, за допомогою кліматичного довідника. Параметри середовища для газоаналізаторів «Паладій-2М» та «Паладій-3» наведені у таблиці 2.3.

**Таблиця 2.3** – Параметри середовища для газоаналізаторів «Паладій-2» та «Паладій-3»:

| Параметри середовища | «Паладій-2М», «Паладій-3» |
|---|---|
| Температура середовища, °С | 5-50 |
| Атмосферний тиск, кПа | 94-105 |
| Відносна вологість повітря, % | До 80 |
| Аналізована газова суміш повинна містити не більше мг/м$^3$ | 0,04 $H_2S$ |
| | 2,0 $SO_2$ |
| | 0,1 $O_3$ |
| | 0,3 $NO_2$ |
| | 0,2 CH |
| Температура аналізованої газової суміші в точці відбору, °С | Від -50<br>До 50 |

*2. Підготовка газоаналізатора «Паладій-2М»*

В першу чергу перед експлуатацією аналізатора необхідно провести ряд певних операцій, що пов'язані з заповненням хімічного фільтру, зволожувача та заправкою електрохімічної комірки. Для цього його потрібно звільнити від кріплення, відключити від пневматичної схеми, від'єднати трубки від штуцерів «Вхід» та «Вихід» та вилучити фільтр з газового блоку. Потім вилучити одну сітку з корпусу та заповнити кришку поглиначом, у вигляді активованого вугілля,

після цього зверху покласти одним шаром ФПП-15, потім сітку, встановити кришку та завернути накидною гайкою. Заповнений та зібраний фільтр поставити на місце та включити в пневматичну схему газового блоку.

Щоб заправити зволожувач водою потрібно вийняти пробку з корпусу та з допомогою скляної воронки залити в корпус дистильовану воду, залишив 5-10 мм відстані до нижнього зрізу отвору і закрити пробкою. Заправка електрохімічної комірки проходить з використанням електроліту, що потрібно заздалегідь підготувати. Щоб приготувати електроліт необхідно у посудину об'ємом 1000 мл налити 750 мл дистильованої води і обережно долити 188,5 мл концентрованої сульфатної кислоти та залишити охолоджуватись. Після того, як розчин повністю охолонув до кімнатної температури і долити водою до мітки.

Щоб заправити комірку, її необхідно відключити від електричної та пневматичної схем аналізатора, звільніти від кріплення та вилучити комірку газового блоку. Комірку промивають дистильованою водою, а після цього заповнити її електролітом не доходячи 10-12 мм до кришки, закрити пробкою і встановити назад, підключив її до пневматичної та електричної схем.

*3. Методика проведення вимірів*

У випадку, коли аналізують окремі проби, то газоаналізатор встановлюється в лабораторії, а проби збираються в посудини, що не впливають на склад проби.

Методика аналізу проб повітря на вміст вуглекислого газу проводять таким чином: до робочої кювети приєднують пристрій пробопідготовки та порівняльну кювету для зменшення об'єму, далі необхідно продути аналізатор азотом або повітрям, який попередньо очистили за допомогою пристрою для отримання нульового газової суміші, встановлюємо значення концентрації, який приладом береться, як нульове, на 1-2 мг/м$^3$. Приєднуємо камеру з пробою, що ми будемо аналізувати до приладу та протягом 3-4 хвилин пропускати аналізовану суміш через газоаналізатор і провести виміри.

Далі від'єднуємо камеру з пробою та через робочу кювети знову продути азот або повітря і лише після цього можна вставляти наступну камеру з пробою

атмосферного повітря. На етикетці до проби обов'язково пишуть про номер, місто та час її збору і концентрацію вуглекислого газу в ній [15].

**2.3.5. Методика проведення аналізу проб на нітрат (II) оксид**

Визначення нітрат (II) оксиду дуже схожий за методом визначення нітрат (IV) оксиду та заснований на виловлюванні плівковим хемосорбентом нітрат (IV) оксиду та його фотометричному визначенні за азобарвником, якій отримують в результаті взаємодії нітрит-іону з сульфаніловою кислотою та 1-нафтиламіном в діапазоні концентрацій 0,016 до 0,94 мг/м$^3$.

*1. Підготовка до проведення хімічного аналізу*

1.1. Підготовка розчинів та сорбентів.

Для проведення аналізу ми перед початком повинні приготувати та розчини та сорбенти: інертний пористий носій промиваємо гарячою водою та ставлять до сушильної шафи; потім його обробляють розчином 20% розчином триетаноламіну, кладуть його у чашу та просушують близько години за температури 90-95 $^o$C, сорбент нітрат (IV) оксиду що містився там має розсипатись; стабілізатор вологості, який виготовляють з натрій ацетату, що додають до дистильованої води по краплях; окиснювач - далі носій змочують в розчині, що містить в собі 17 г хром (IV) оксиду в 100 мл води, його надлишок зливається, сам реагент висушується при температурі 105-115 $^o$C та зберігається у склянці з притертою пробкою; фільтр – сорбційна колонка, заповнена 15 мл сорбентом нітрат (IV), 15 мл гранульованого порошку стабілізатора вологості та 15 мл окиснювачі. Усі сорбенти розділені між собою тампоном з скловати.

Усі інші реактиви готують так само, як і для хімічного аналізу нітрат (IV) оксиду у пункті 2.3.3, підпункті 1.1.

1.2. Встановлення градуювальної характеристики

Градуювальна характеристика проводиться за тим же самим механізмом, що і для нітрат (IV) оксиду, виражаючи залежність оптичної густини пробі від маси нітрат (II) оксиду у пробі. Усі процедури та приготування для встановлення градуювальної характеристики розписані у пункті 2.3.3, підпункті 1.2.

1.3. Підготовка сорбційних труб до відбору проб

Обробка чистих труб, проходить з використанням 0,3 мл абсорбуючого розчину, його ретельно протирають фільтрувальним папером ззовні і зачиняють пробками. Після цього оброблені трубки поміщають у поліетиленовий пакет, термін зберігання труб не більше тижня.

1.4. Відбір проб для аналізу

У встановлену в вертикальне положення трубку і колонку, що заповнена сорбентом для поглинання $NO_2$, стабілізатором вологості та окиснювачем, аспірують повітря протягом 20 хвилин [15].

*2. Методика проведення хімічного аналізу*

Методика проведення хімічного аналізу проб для визначення концентрацій нітрат (II) оксиду у пробах атмосферного повітря повністю збігається з методикою визначення нітрат (IV) оксиду. Дана методика вже розписана вище в пункті 2.3.3, підпункт 2.

**2.3.6. Методика проведення аналізу дослідження проб на формальдегід**

Метод заснований на виловлюванні формальдегіду з повітря розчином сульфатної кислоти та його фотометричному визначенні, після його утворення в результаті взаємодії формальдегіду з фенілгідразину гідрохлоридом та хлораміном Б у кислому середовищі.

1. *Підготовка до аналізу*

1.1. Приготування та підготовка розчинів для аналізу.

Для встановлення градуювальної характеристики та проведення аналізу необхідно приготувати такі розчини: розчин йоду 0,05 моль/л; розчин крохмалю 0,5%: до 10 мл води додають 0,25 г крохмалю та перемішують до отримання одномірної суміші. Потім до 40 мл води, що прогріли до 60-70 $^oC$ не перестаючи помішувати додаємо суміш крохмалю, кип’ятять протягом 1 хвилини та охолоджують; сульфатні кислоти 20% та 10% розчини: для отримання 20% розчину необхідно до 80 мл дистильованої води додати 11 мл концентрованої сульфатної кислоти, для 10% до 78,1 мл води треба додати 21,9 мл

концентрованої сульфатної кислоти; 20% розчин натрій гідроксиду; 0,1 моль/л розчин натрій тіосульфату; фенілгідразин солянокислий 5%: 5 г фенілгідразину розчиняють у воді, доводять до мітки в колбі на 100 мл та фільтрують. Суміш фенілгідразину з етанолом: до 10 мл етанолу доливають 2 мл 5% розчин фенілгідразину і перемішують; хлорамін Б 0,5% розчин: в колбі об'ємом 50 мл насипають 0,25 г хлораміну Б, розчиняють у воді та доводять до мітки. Вихідний розчин формальдегіду готується таким чином: 2,5 г формаліну розчиняють у воді в колбі 100 мл, потім визначають його точну концентрацію. Після визначення концентрації методом розведення готують розчин, що міститиме в собі 10 мкг/мл розчину. Робочий розчин формальдегіду готують з 10 мл вихідного розчину, що розбавляють водою у колбі на 100 мл. Поглинальний розчин – це розчин сульфатної кислоти 0,005 моль/л.

1.2. Встановлення градуювальної характеристики

Градуювальна характеристика виглядає, як залежність оптичної густини розчину від концентрації формальдегіду у пробі. Розчини для встановлення характеристики готуються у мірних колбах місткість 100 мл, до них вносять об'єми робочого розчину формальдегіду, що зазначені у таблиці 6, доводять до мітки поглинальним розчином і перемішують.

**Таблиця 2.4** – Розчини для встановлення градуювальної характеристики для визначення концентрації формальдегіду:

| Номер розчину | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Об'єм робочого розчину (ρ = 1 мкг/мл), мл | 4 | 10 | - | - | - | - |
| Об'єм вихідного розчину (ρ = 10 мкг/мл), мл | - | - | 2 | 4 | 6 | 10 |
| Маса формальдегіду в 5 мл розчину, мкг | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 |

Для встановлення градуювальної характеристики у пробірки відбирають по 5 мл кожного розчину, додають до нього 1,2 мл розчину етанолу з фенілгідразином та перемішують, через 15 хвилин до нього додають 1 мл розчину хлораміну Б 0,5%, знову перемішують та лишають на 10 хвилин. Після того, як 10 хвилин вичерпали себе до кожної проби додається по 2 мл 20%

розчину сульфатної кислоти а знову перемішують. Через 10 хвилин проводять фотометричне визначення оптичної густини в кюветах з відстанню граней 20 мм та при довжині хвилі 520 нм. Водночас готується нульовий розчин, але на початку замість розчину використовують поглинальний розчин, після цього порядок та об'єм додавання розчинів не змінюється. Дійсне значення оптичної густини знаходять за різницею оптичної густини для градуювальних розчинів з оптичною густиною нульового розчину.

1.3. Відбір проб

Проби повітря збираються за допомогою приладу Ріхтера, що заповнений 6 мл поглинального розчину протягом 20 хвилин. Аналіз проби проводять в той самий день.

*2. Методика аналізу для визначення концентрації формальдегіду в пробі*

Готують проби для аналізу згідно того ж алгоритму, що і проби для градуювальної характеристики, тільки замість робочого та вихідного розчину використовують проби, що зібрали за допомогою приладу Ріхтера. Визначення проводять в кюветах з відстанню робочих граней 20 мм при довжині хвилі 520 нм. Аналогічно проводять аналіз 3-х нульових проб. Середнє значення оптичної густини не має перевищувати значення 0,04.

Масу формальдегіду у пробі атмосферного повітря визначають за допомогою побудованої градуювальної характеристики за різницею розчинів проб та середньої оптичної густини нульових проб [15].

### 2.3.7. Методика проведення аналізу дослідження проб на аміак

Визначення концентрації аміаку у пробах атмосферного повітря проводиться згідно уловлюванню аміаку з повітря плівковим хемосорбентом та його фотометричному визначенні його за індофенолу, що утворився під час взаємодії аміаку з гіпохлоритом і фенолом у присутності натрій нітропрусиду.

*1. Підготовка до проведення аналізу*

1.1. Приготування розчинів для встановлення градуювальної характеристики та проведення аналізу.

Для аналізу згідно даного методу необхідно приготувати такі розчини: калій йодид 10% розчин; сульфатна кислота, що змішали в колбі об’ємом 100 мл, в якій 10 мл концентрованої кислоти розбавили 90 мл диіонізованої води; натрій тіосульфат 0,1 моль/л; фенольний реактив, який готується з 5 г свіжого фенолу, 0,025 г натрій нітопрусиду та 0,1 г саліцилової кислоти, що розчинили у 100 мл води; крохмаль 0,5% розчин: до 10 мл води додають 0,25 г крохмалю та перемішують до отримання одномірної суміші. Потім до 40 мл води, що прогріли до 60-70 $^{o}$C не перестаючи помішувати додаємо суміш крохмалю, кип’ятять протягом 1 хвилини та охолоджують; розчин гіпохлориту, що готують наступним чином до 100 г хлорного вапна додають 170 мл деіонізованої води та перемішують протягом 15 хвилин, додають до нього 70 г натрій карбонату, що розчинений у 170 мл води. Отриманий розчин фільтрують на воронці Бюхнера та потім визначають масову частку «активного» хлору. У тому випадку, якщо масова частка не відповідає необхідному значення розчин перероблюють додаючи меншу або більшу кількість хлорного вапна, залежно від ситуації; гіпохлорний реактив, що готується з 100 мл гіпохлориту до якого додають 4 г натрій гідроксиду; вихідний розчин для градуювання: До наважки 0,3141 г амоній хлориду, який висушили при температурі 100 $^{o}$C, поміщають у колбу об’ємом 1000 мл, доводять об’єм до мітки деіонізованою водою та ретельно перемішують; робочий розчин готують з 10 мл вихідного розчину, що розбавили дистильованою водою в колбі об’ємом 1000 мл; розчин для обробки сорбційних трубок: у циліндр місткістю 100 мл розчиняють 5,4 мл концентрованої сульфатної кислоти у 50 мл води, після охолодження до нього доливають 12 мл гліцерину і доводять водою до мітки; розчин для розведення: 1,7 мл розчину для обробки сорбційних труб розводять деіонізованою водою в колбі об’ємом 100 мл.

1.2. Встановлення градуювальної характеристики

Градуювальна характеристика для визначення концентрації аміаку в повітрі виглядає, як залежність оптичної густини розчину від маси аміаку в пробі. Розчини для встановлення характеристики готують в мірних колбах місткістю 50

мл, для цього у кожну колбу вливають певний об’єм робочого розчину, який зазначений в таблиці 2.5, доводять дистильованою водою до мітки та перемішують.

**Таблиця 2.5** – Розчини для встановлення градуювальної характеристики для визначення концентрації аміаку:

| Номер розчину | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Об’єм робочого розчину (ρ = 1 мкг/мл), мл | 1 | 2 | 4 | 6 | 10 | 20 |
| Маса аміаку в 5 мл розчину, мкг | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 2,0 |

Аби встановити градуювальну характеристику у пробірки відбирають по 5 мл кожного градуювального розчину, додають до нього 0,1 мл розчину для обробки сорбційних трубок, 1 мл фенольного реактиву, ретельно перемішують, додають 0,5 мл гіпохлоритного реактиву та знову перемішують. Водночас за аналогічним алгоритмом готують і нульовий розчин, єдиною різницею є те, що замість робочого розчину використовують деіонізовану воду. За 2 години проводять вимірювання оптичної густини в кюветах з відстанню робочих граней 5 мм та довжині хвилі 628 нм.

1.3. Підготовка собційних трубок

Підготовка чистих труб, що використовуються для відбору проб або ті які використовують в якості нульових проходить з абсорбуючим розчином, яким ретельно обробляють трубки та протирають їх фільтрувальним папером ззовні і зачиняють пробками. Після цього оброблені трубки поміщають у поліетиленовий пакет та транспортують до місця відбору проб.

1.4. Відбір проб

Спочатку сорбційну трубку фіксують у вертикальному положенні з шаром сорбенту внизу, повітря має проходити знизу вгору. З метою затримування аерозолю солей амонію перед сорбційною трубкою встановлюють фільтротримач з фільтром. Виміри для визначення разової концентрації проводяться при температурі від -30 до 40 °С протягом 20 хвилин, а для

середньодобової концентрації відбирається по 4-8 проб за 24 години, одразу після відбору проб необхідно закрити трубку пробкою.

*2. Методика проведення аналізу*

Сорбційну трубку вносять до пробірки та наливають туди 6 мл води, за допомогою гумової груші прокачують сорбент з трубки у розчин. Для самого аналізу необхідно 1 мл цього розчину перенести до іншої пробірки та довести розчином для розведення до об'єму 5 мл, потім до пробірки додають 1 мл фенольного реактиву, перемішують, вносять 0,5 мл гіпохлорного реактиву та знову перемішують. Водночас аналізують 3 нульові проби, через 2 години проводять виміри оптичної густини в кюветах з відстанню робочих граней 5 мм та довжині хвилі 628 нм. Середнє значення не має перевищувати значення 0,04.

Масу аміаку визначають за допомогою градуювальної характеристики за різницею оптичних густини відібраних та нульових проб [15].

# РОЗДІЛ 3: РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННОГО АНАЛІЗУ

## 3.1. Підготовка та проведення аналізу

Після підготовки обладнання для аналізу та відбору проб, проводиться сам відбір проб. Проби атмосферного повітря для аналізу відбирає лабораторія спостереження, що також є структурним підрозділом Сумського обласного центру з гідрометеорології, з трьох стаціонарних постів спостереження забруднення повітря, що знаходяться: № 3 – вул. Холодноярської бригади, 24; № 4 – вул. Харківська, 125; № 5 – вул. Металургів, 2. Відбір проб проводились 4 рази на добу: о 1-й, о 7-й, о 13-й та о 19-й годинах. Усі точки ПСЗ, позначені на карті, можна побачити на рисунку 3.1.

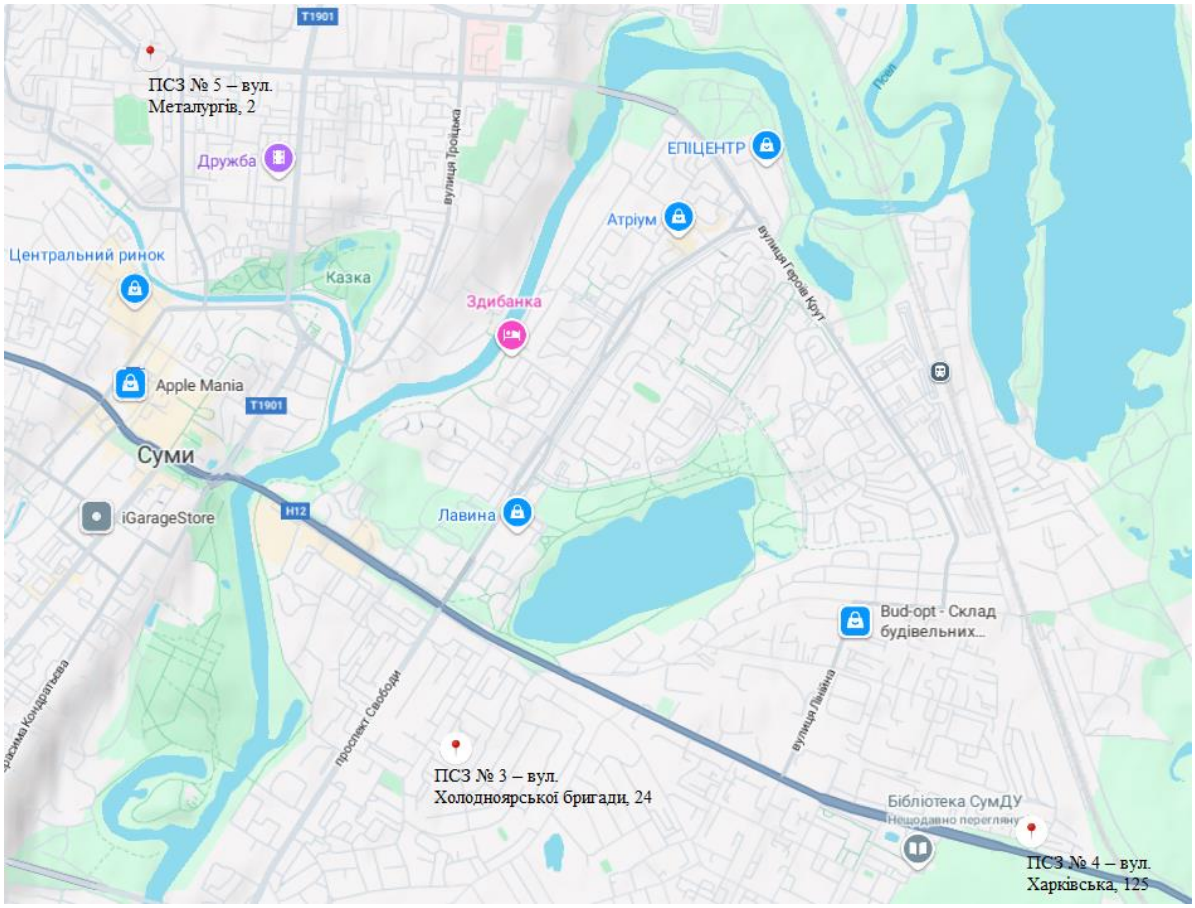


**Рисунок 3.1** – ПСЗ у місті Суми, де відбирались проби повітря для аналізу.

Пости моніторингу – це павільйон або авто, який укомплектований необхідними для спостереження приладами на земельній ділянці, їх можна вважати комплектними лабораторіями для моніторингу стану атмосферного повітря. Вони розміщаються у містах, в Україні таких станцій вже 162 у 53 містах

України [20]. Чинники, від яких залежить кількість розташованих у населеному пункті ПСЗ – це площа міста, його рельєфу, кількості підприємств та чисельність населення. Як виглядають пости на яких відбираються проби повітря для аналізу зображені на рис. 3.2 а і б, 3.3.

**Рисунки 3.2 а, б** – ПСЗ у Рівненській області [21]; **3.3** – ПСЗ у Запоріжжі [22].

Усі відомості про забруднення атмосферного повітря зібрані у вигляді таблиць та візуалізували у вигляді діаграм. Гранично допустимі концентрації, максимально разова та середньодобова концентрації, забруднюючих речовин у атмосферному повітрі для населених пунктів вказані у таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1** – ГДК забруднюючих речовин у повітрі для населених місць[23]:

| № | Домішка | Максимальна разова, мг/м$^3$ | Середньодобова, мг/м$^3$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Пил | 0,5 | 0,15 |
| 2 | Сульфур (IV) оксид | 0,5 | 0,05 |
| 3 | Нітрат (IV) оксид | 0,2 | 0,04 |
| 4 | Вуглекислий газ | 5,0 | 3,0 |
| 5 | Нітроген (II) оксид | 0,4 | 0,06 |
| 6 | Формальдегід | 0,035 | 0,003 |
| 7 | Аміак | 0,2 | 0,04 |

### 3.2. Обробка отриманих результатів

Відібравши проби на умовлених стаціонарних постах спостереження та провівши дослідження на визначення концентрацій, усі визначенні значення були занесені до таблиці 3.2 та були порівняні зі середніми значеннями за 2019, 2020, 2021 та 2022 роки у таблиці 3.3.

**Таблиця 3.2** – Отримані значення концентрації під час аналізу проб повітря по місяцях та середнє значення за рік:

| Місяць | Пил | $SO_2$ | $CO_2$ | $NO_2$ | NO | $NH_3$ | Формальдегід |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Квітень | 0,270 | 0,028 | 1,853 | 0,078 | 0,029 | 0,012 | 0,003 |
| Травень | 0,298 | 0,040 | 1,821 | 0,078 | 0,031 | 0,015 | 0,004 |
| Червень | 0,318 | 0,046 | 1,846 | 0,083 | 0,037 | 0,015 | 0,004 |
| Липень | 0,277 | 0,043 | 1,827 | 0,085 | 0,035 | 0,016 | 0,005 |
| Серпень | 0,325 | 0,046 | 1,814 | 0,086 | 0,033 | 0,019 | 0,005 |
| Вересень | 0,329 | 0,038 | 1,846 | 0,075 | 0,032 | 0,016 | 0,004 |
| Жовтень | 0,304 | 0,033 | 1,814 | 0,078 | 0,030 | 0,013 | 0,003 |
| Листопад | 0,289 | 0,031 | 1,767 | 0,066 | 0,027 | 0,013 | 0,003 |
| Грудень | 0,278 | 0,034 | 1,693 | 0,070 | 0,026 | 0,014 | 0,004 |
| Середньорічна | 0,300 | 0,04 | 1,8 | 0,078 | 0,031 | 0,0148 | 0,0039 |

Середньодобові концентрації усіх визначених речовин у 2023 році, було узагальнено на діаграмі, що зображена на рисунку 3.4.

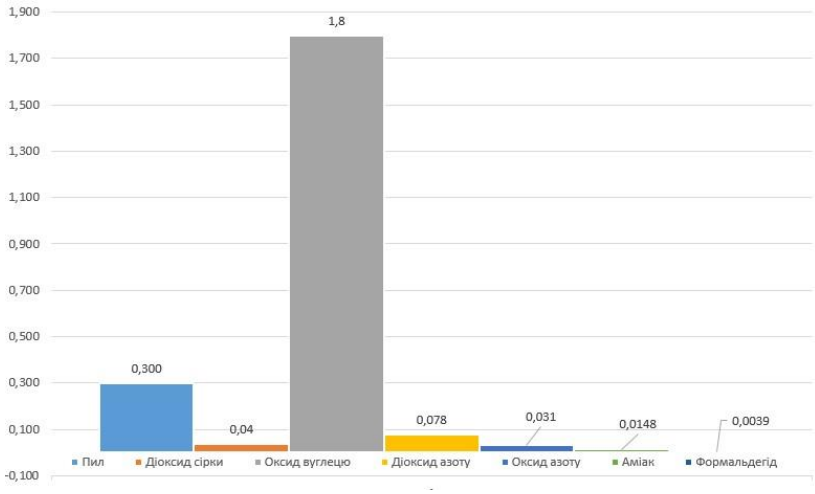


**Рисунок 3.4** – Діаграма середньорічних концентрацій домішок за 2023 р.

**Таблиця 3.3** – Середні річні значення середньорічних концентрацій за період від 2019 до 2023 року:

| Рік | Характеристика | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Пил | $SO_2$ | $CO_2$ | $NO_2$ | NO | $NH_3$ | Формальдегід |
| 2019 | 0,3 | 0,037 | 2 | 0,064 | 0,03 | 0,016 | 0,004 |
| 2020 | 0,3 | 0,033 | 2 | 0,07 | 0,03 | 0,014 | 0,003 |
| 2021 | 0,3 | 0,041 | 2 | 0,075 | 0,04 | 0,014 | 0,004 |
| 2022 | 0,3 | 0,038 | 2 | 0,072 | 0,03 | 0,013 | 0,004 |
| 2023 | 0,3 | 0,038 | 1,8 | 0,077 | 0,03 | 0,014 | 0,004 |

Оцінка стану атмосферного повітря означає визначення показників та основних характеристик. Розглянемо кожну із домішок окремо та порівняємо отримані дані цього року з даними останніх п’яти років.

1. Пил

Згідно з отриманими даними у м. Суми протягом 2023 року спостерігалась середня середньодобова концентрація в 0,3 мг/м$^3$. Найменша концентрація була в квітні (0,270 мг/м$^3$), а найбільша – у вересні (0,329 мг/м$^3$). Увесь 2023 рік, як і у попередніх роках концентрація пилу в повітрі майже в 2 рази вище ніж ГДК, це можна наглядно побачити на рисунках 3.5 при зміні концентрації протягом 2023 року і 3.6 де порівнюються середнє значення концентрації за 5 років.

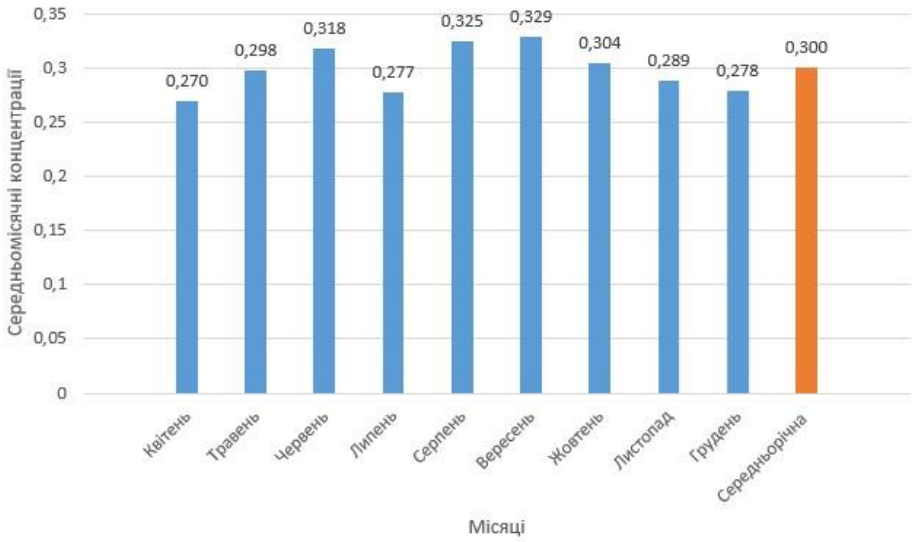


**Рисунок 3.5** – Середньомісячні концентрації пилу за 2023 рік.

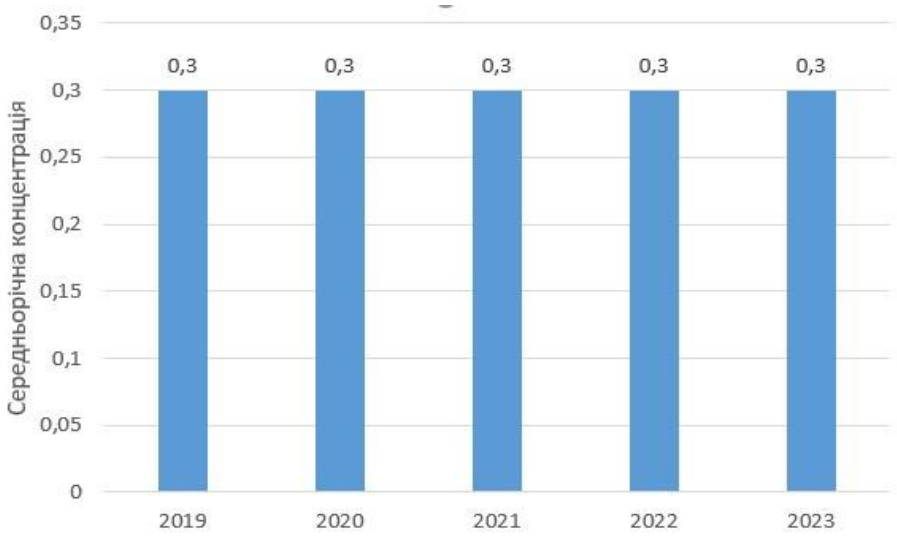


**Рисунок 3.6** – Порівняльна діаграма концентрацій пилу в повітрі.

2. Сульфур (IV) оксид

Протягом року вміст сульфур (IV) оксид хоч і коливався в значеннях концентрації, але жодного разу не перетинала межу гранично допустимої концентрації. Мінімальне значення концентрації було у квітні (0,028 мг/м$^3$), а максимальне у червні та серпні – 0,046 мг/м$^3$, середньорічна концентрація становить 0,04 мг/м$^3$. На рисунку 3.7 зображена діаграма з щомісячними концентраціями, а на 3.8 зображена діаграма порівняння щорічних концентрацій сульфур (IV) оксиду в період з 2019 – 2023 роки.

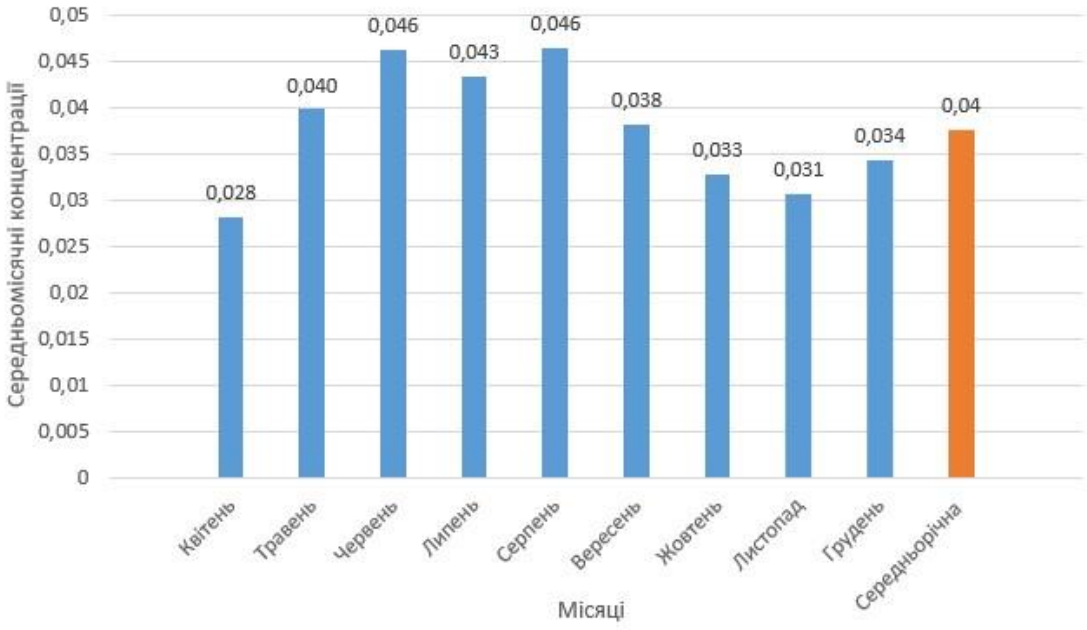


**Рисунок 3.7** – Середньомісячні концентрації сульфур (IV) оксиду за 2023 рік.

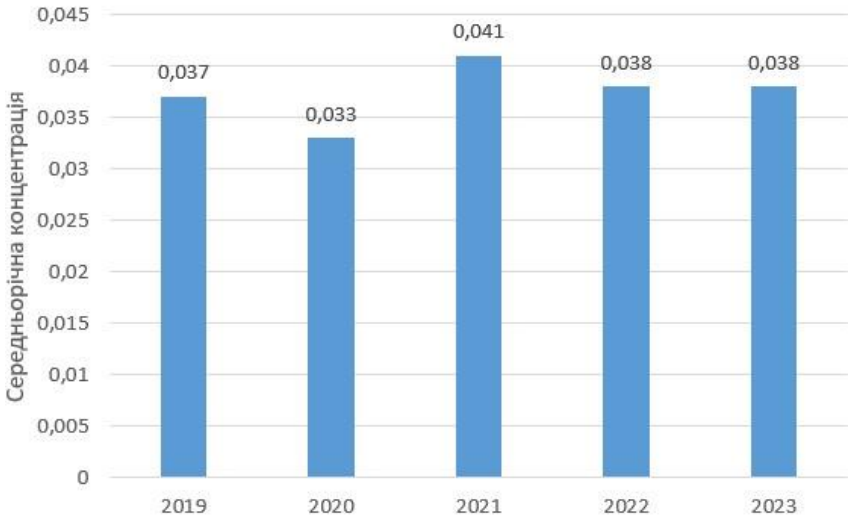


**Рисунок 3.8** – Порівняльна діаграма концентрації $SO_2$ в повітрі.

Згідно з діаграмою на рисунку 3.8 показує, що останні 2 роки значення концентрації сульфур (IV) оксиду стабільне та не перевищує гранично допустиму концентрацію.

3. Карбон (IV) оксид

Сполука-забруднювач, що найпоширеніша у повітрі – це вуглекислий газ. Хоч у 2023 році концентрація вуглекислого газу і вища за ГДК, але в порівнянні з попередніми роками, то рівень забруднень зменшився. Усі концентрації за 2023 різ зображені на рисунку 3.9, а на рисунку 3.10 – порівняння щорічної концентрації домішки з даними за попередні 5 років.

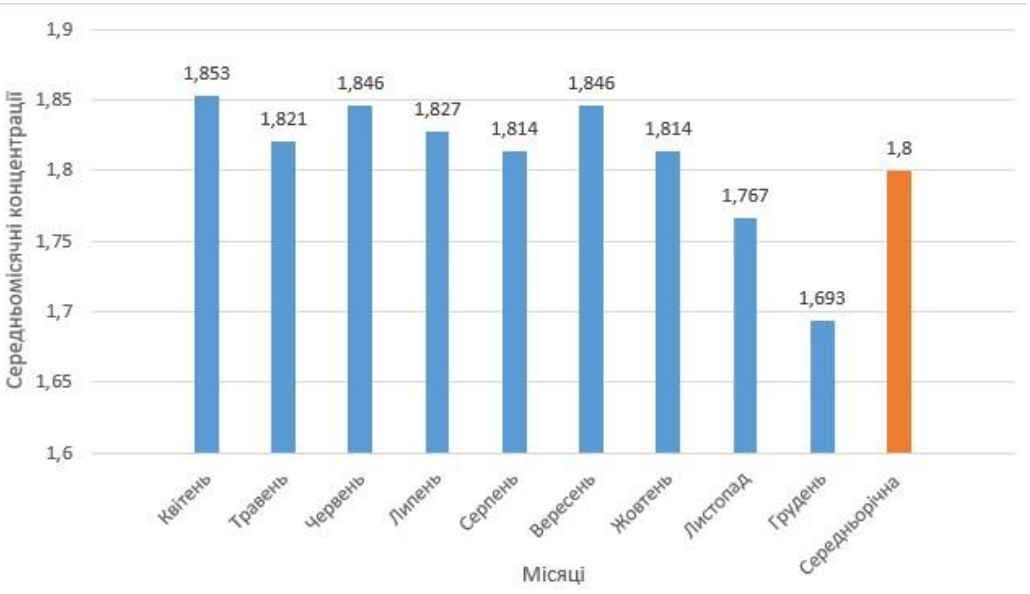


**Рисунок 3.9** – Середньомісячні концентрації $CO_2$ у 2023 році.

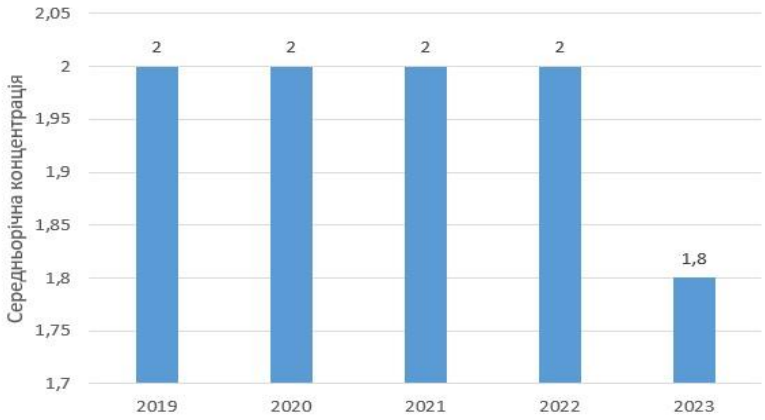


**Рисунок 3.10** – Порівняння середньорічних концентрацій за 2019-2023 рр.

У 2023 році максимальне значення концентрації було у квітні і дорівнює 1,853 мг/м$^3$, а мінімальна – у грудні, що дорівнює 1,693 мг/м$^3$, при середньомісячній концентрації 1,8 мг/м$^3$.

4. Нітроген (IV) оксид

Розглянемо наступну речовину-забруднювач – це нітроген (IV) оксид, що також є однією із найрозповсюджених сполук. Зі зростом кількості виробництв та збільшення їх обсягу виробництва значення концентрації $NO_2$ збільшувалось.

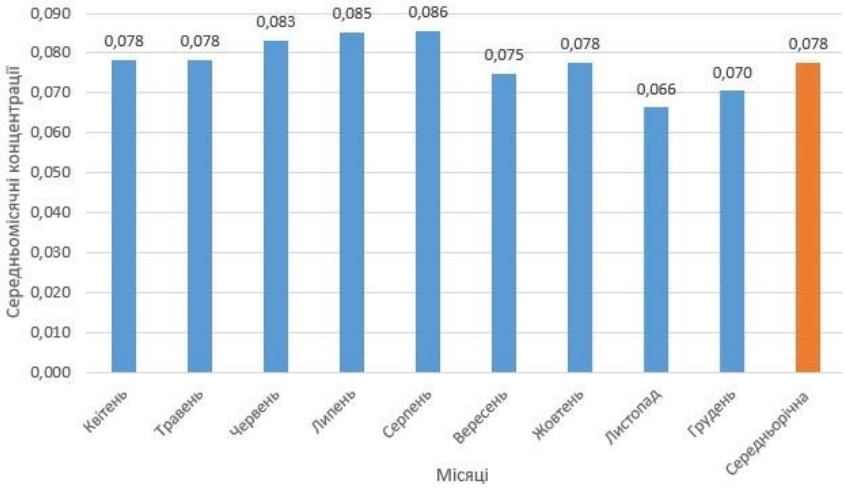


**Рисунок 3.11** – Середньомісячні концентрації $NO_2$ в пробах за 2023 рік.

При розгляданні отриманих результатів практичного аналізу проб атмосферного повітря, то можемо перейти до висновку що найменше значення концентрації дорівнює 0,066 мг/м$^3$ у листопаді, а максимальне значення – 0,086 мг/м$^3$ при середньомісячній концентрації в 0,078 мг/м$^3$. На діаграмах, що зображені на рисунках 3.11 і 3.12 можемо спостерігати порівняння щомісячних

концентрації за 2023 рік та щорічні концентрації з даними за період 2019 – 2023 роки.

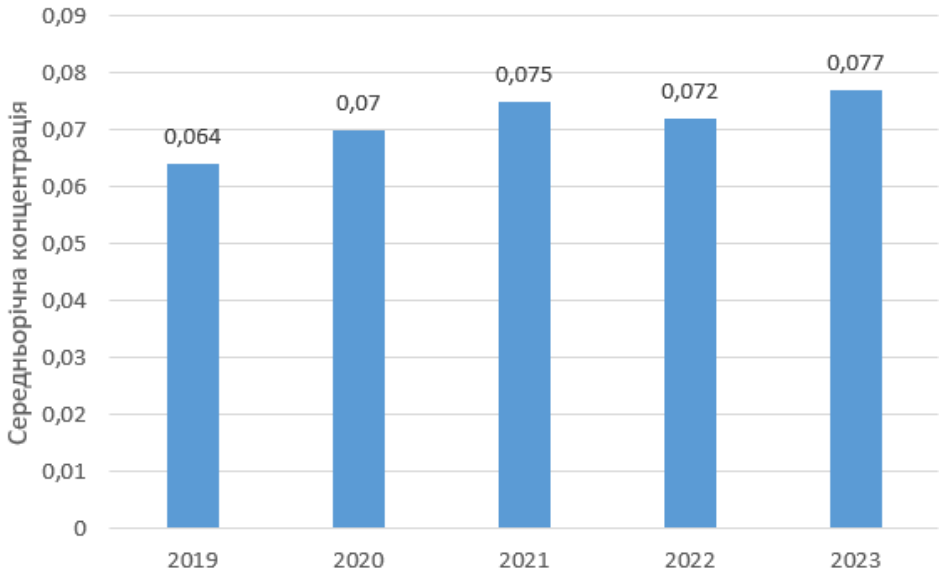


**Рисунок 3.12** – Порівняння концентрацій $NO_2$ за 2019-2023 рр.

Згідно останньої порівняльної діаграми, ми можемо зробити висновок, що концентрація забруднювача у вигляді $NO_2$ поступово зростає з кожним роком.

5. Нітрат (II) оксид

Розглядаючи наступну сполуку забруднювач нітрат (II) оксиду на діаграмі 3.13 ми бачимо середньомісячну концентрацію сполуки, що дорівнює 0,031 мг/м$^3$.

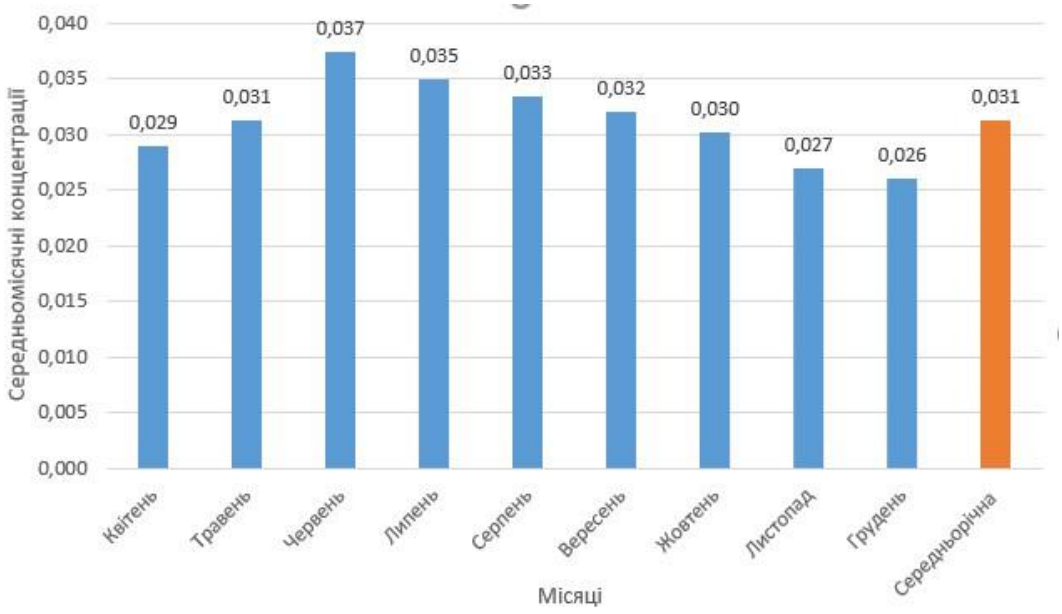


**Рисунок 3.13** – Концентрація речовини забруднювача у 2023 році.

Максимальне значення було в червні – 0,037 мг/м$^3$; мінімальне – в грудені 0,026 мг/м$^3$. На діаграмі 3.14 ми спостерігаємо порівняння данимх за останні 5 років.

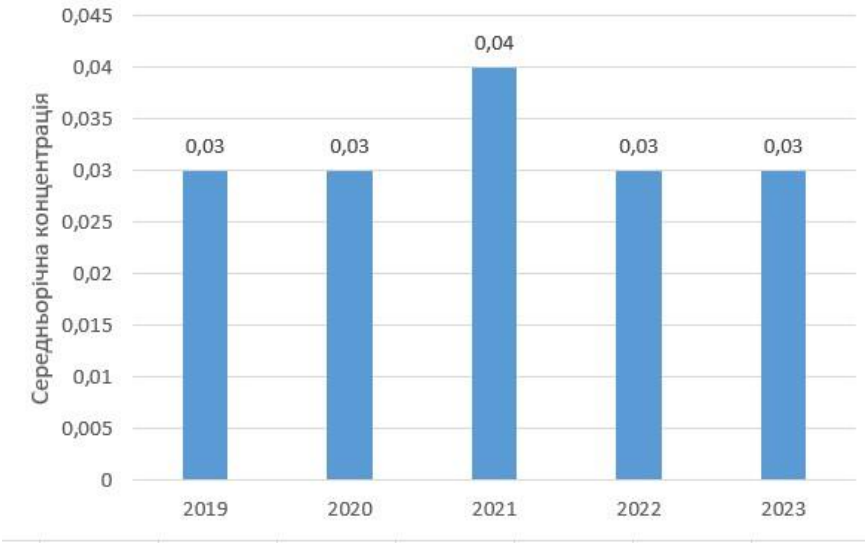


**Рисунок 3.14** – Порівняльння концентрації NO за період 2019-2023 рр.

Отримані результати аналізу для визначення концентрацій проб атмосферного повітря не переходило межу ГДК.

6. Аміак

Середньомісячне значення дорівнює 0,0148, його максимальне значення у серпні 0,019 мг/м$^3$, а мінімальне значення у квітні 0,012 мг/м$^3$. На рисунку 3.15 ми можемо побачити середньомісячні концентрації атмосферних проб, а на рисунку 3.16 порівняння даних з цього забрудника.

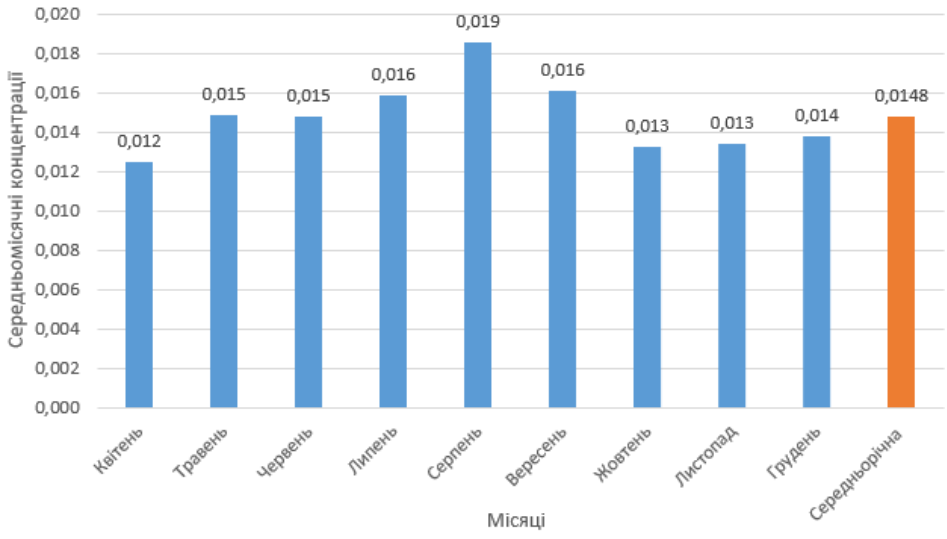


**Рисунок 3.15** – Діаграма порівняння концентрацій сполуки за 2023 рік.

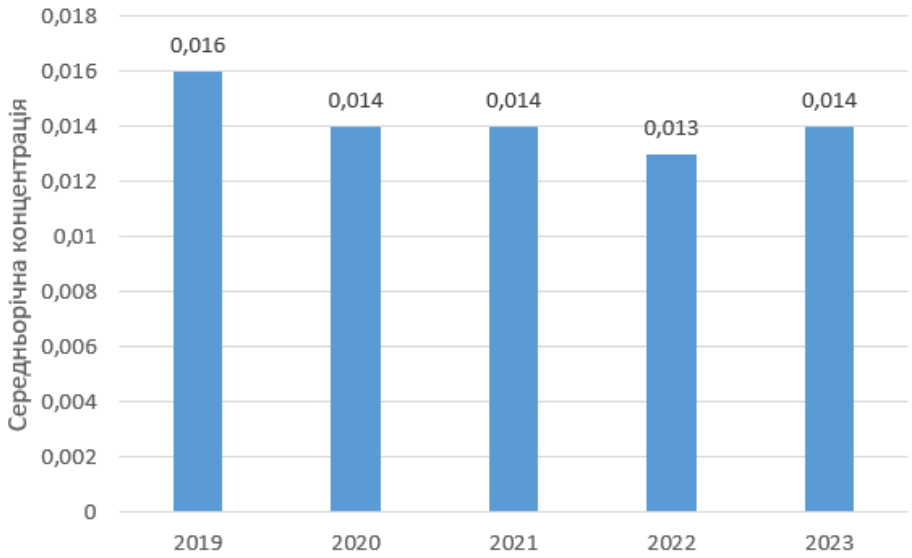


**Рисунок 3.16** – Порівняльна характеристика за останні 5 років для аміаку.

7. Формальдегід

Після проведення аналізу на формальдегід, ми спостерігали непелике перевищення концентрації в повітрі сполуки формальдегіду в мінімальних кількостях. Середньорічна концентрація дорівнює 0,0039, мінімальне значення було в квітні, жовтні та листопаді 0,003, а максимальне значення – липень та серпень зі значенням 0,005 мг/м$^3$. На діаграмах 3.17 та 3.18 ми побачимо дані концентрацій середньорічні та порівняння цих даних з даними попередніх років.

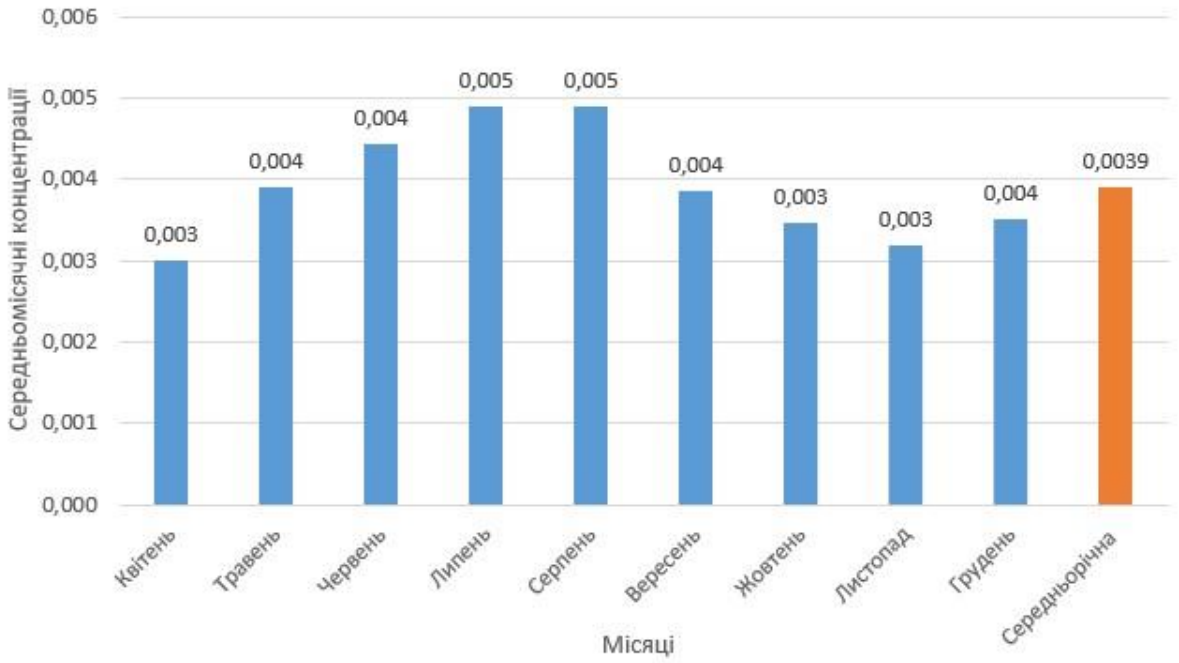


**Рисунок 3.17** – Середньорічні концентрації формальдегіду за 2023 рік.

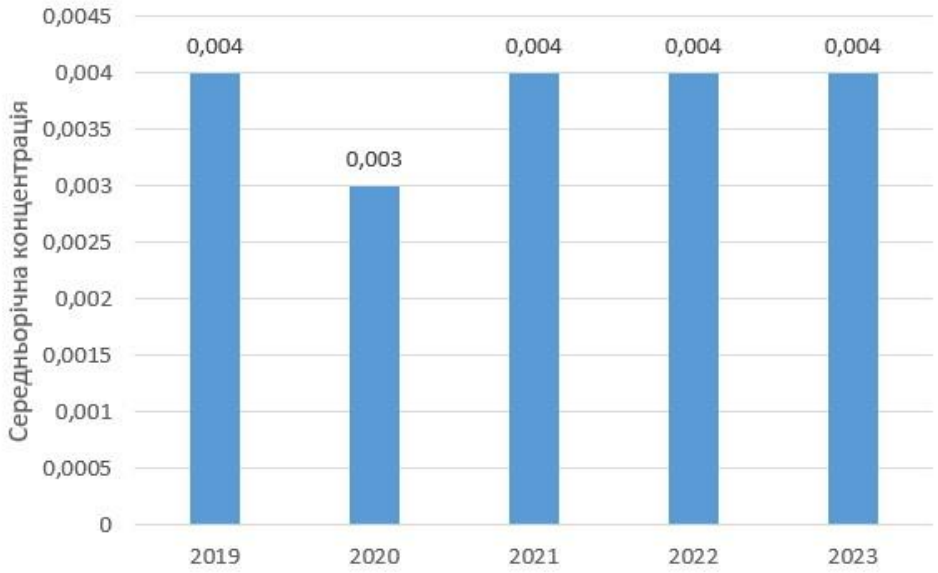


**Рисунок 3.18** – Порівняння отриманих концентрацій з даними попередніх років.

Таким чином, згідно отриманих нами результатів концентрації таких домішок, як сульфур (IV) оксид, карбон (IV) оксид нітрат (II) окисид, аміак знаходяться в межах допустимої ГДК та не передбачають небезпеку для здоров'я, чого не скажеш про концентрації пилу, нітрат (IV) оксиду і формальдегіду значення яких перевищує ГДК майже в 2 рази, що має небезпечний вплив на здоров'я населення. Порівнюючи концентрацію кожної з домішок за останні 5 років можна побачити, що:

1) Пил вже 5 років має стабільне значення, що перевищує ГДК;

2) Сульфур (IV) оксид має стабільне значення концентрації останні 2 роки, а до цього воно коливалось, хоч і весь час знаходилось в межах норми;

3) Вуглекислий газ – лише в 2023 році його концентрація зменшилась, до цього його значення було стабільним;

4) Нітрат (IV) оксид – за останні 5 років концентрація даної домішки весь час збільшується та ще більше перевищує ГДК;

5) Нітрат (II) оксид – останні 2 роки має стабільне середньорічну концентрацію, що знаходиться в межах норми;

6) Аміак та його значення концентрації в атмосферному повітрі весь час коливається, але все одно знаходить в межах норми;

7) Формальдегід – значення 3 останні роки стабільне хоч і перевищує ГДК.

# ВИСНОКИ

1. Під час виконання літературного огляду було детально розглянуто актуальність теми забруднення атмосферного повітря. Розглянуто основні закони, накази та постанови Кабінету Міністрів, які організовують та регламентують режим роботи обласних гідрометеорологічних центрів, їх лабораторій спостереження, що і збирають проби атмосферного повітря та проводять над ними ретельних аналіз на концентрацію забруднювачів в повітрі. Узагальнено інформацію про джерела забруднення, контроль стану атмосферного повітря на наявність в них певної концентрації забруднюючих речовин та короткочасний та тривалий вплив перевищенної концентрації шкідливих домішок у повітрі на людське здоров'я.

2. Детально проаналізовано стандарт, згідно якого і проводять усі дослідження будо укладено список необхідних реактивів та обладнання, сформовано порядок підготовки обладнання та розчинів, що використовують для побудови градуювального графіку та обробка обладнання для відбору проб.

3. Також згідно стандарту РД 52.04.186-89 було укладено хід виконання лабораторних дослідів, за якими і проводиться визначення разової та середньодобової/середньорічної концентрації забруднювачів у пробах для таких домішок, як пил, сульфур (IV) оксид, нітроген (IV) оксид, вуглекислого газу, нітроген (II) оксиду, формальдегіду та амоніаку.

4. Під час проведення лабораторного дослідження вдалось більш детально розібратись в організації моніторингу атмосферного повітря для міста Суми, місце розташування ПСЗ, їх зовнішній вигляд. Після закінчення аналізу, всі отримані результати були опрацьовані та занесені до таблиць та узагальнені у вигляді діаграм.

5. У результаті проведеного дослідження проаналізовано вміст таких домішок, як сульфур (IV) оксид, вуглекислий газ, нітроген (II) оксид, аміак і встановили, що їх концентрація знаходиться в межах норми та не становить загрози людському життю. Щодо концентрації пилу, нітроген (IV) оксиду та

формальдегіду, то значення перевищує ГДК, в деяких випадках майже в 2 рази вище норми. Також вдалось порівняти усі отримані за 2023 рік результати з результатами попередніх років.

У тому випадку, якщо значення концентрації домішки перевищує гранично допустимі норми, адміністративними органами влади проводяться спеціальні контрольні заходи, щоб зменшити викиди промислових виробництв у повітря.

# СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Вініченко А. І., Пономарьова Л. М. Моніторинг забруднення повітря міста Суми. Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали XI Всеукр. науково-техн. конф., м. Суми, 23–26 квіт. 2024 р. / ред.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. Суми, 2024. С. 272–273.

2. Малеев В., Безпальченко В., Семенченко О. Стан атмосферного повітря міста херсона. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2018. Т. 1, № 2(65). С. 124–130.

3. Які міста дихають діоксидом азоту? - SaveDnipro. SaveDnipro. URL: https://www.savednipro.org/no2_2023/.

4. Air Pollution – a Global Threat to our Health. University of Copenhagen. URL: https://www.coursera.org/learn/air-pollution-health-threat?authuser=0.

5. Чорна О. Основні джерела забруднення атмосферного повітря. Сучасні аспекти науки, освіти і практики в екобіотехнологічному забезпеченні агропромислового виробництва : матеріали Міжнар. наук. конф., м. Маленьке / ред.: Н. С. Сивакова, М. О. Шенгелай. Маленьке, 2013. С. 82–84.

6. Клименко В. Г., Цигічко О. Забруднення атмосферного повітря : Метод. розроб. для студентів-географів. Харків : Харків. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна, 2010. 26 с. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/46588435.pdf.

7. Pénard-Morand C., Annesi-Maesano I. Air pollution: from sources of emissions to health effects. Breathe. 2004. Vol. 1, no. 2. P. 108–119. URL: https://doi.org/10.1183/18106838.0102.108.

8. Архіпова Г. І., Ткачук І., Глушков Є. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах. Вісник НАУ. 2009. № 1. С. 78–83. URL: https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/519.

9. Батлук В. А., Азарський К. І. Рівень забруднення атмосферного повітря та його вплив на здоров'я населення України. *Науково-технічний збірник"*

*Наукові записки“*. 2006. № 2(10). С. 108–114. URL: http://nz.uad.lviv.ua/static/media/2-10/20.pdf.

10. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII : станом на 8 жовт. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text.

11. Скок А., Хрутьба В., Рак О. Якість атмосферного повітря в Україні до і під час повномасштабного вторгнення : Дослідження / Адвокаціна мереджерка О. Гвоздік ; Менеджер з дан. Г. Кириченко ; Гр. дизайнерка О. Романюкова. Київ : Громад. орг. "Збережи Дніпро" (SaveDnipro), 2023. 67 с.

12. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова Каб. Міністрів України від 30.03.1998 р. № 391 : станом на 21 черв. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п#Text.

13. Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : Постанова Каб. Міністрів України від 09.03.1999 р. № 343 : станом на 5 верес. 2019 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/343-99-п#Text.

14. Карта якості повітря. *SaveEcoBot*. URL: https://www.saveecobot.com/maps#8/50.728/33.250/aqi.

15. РД 52.04.186-89. Керівництва з контролю забруднення атмосфери. Чинний від 1991-07-01. Вид. офіц. Москва : Держгідромет СРСР, 1991. 695 с. URL: https://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/aLe2hTQs.pdf.

16. Куленко О., Стрижак С. Аналітичні методи визначення нітратів. Етодика навчання природничих дисциплін у середній та вищій школі (XXVIII каришинські читання) : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Полтава, 27–28 трав. 2021 р. / ред. М. Гриньової. Полтава, 2021. С. 285–289.

17. Буденкова Н. М. Фізико-хімічні методи досліджень: навч. посіб. Рівне : Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування, 2011. 244 с. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/2041/1/719649%20zah.pdf.

18. Строк О. М., Петрусь І. І. Техніка хімічного експерименту: методичні вказівки до лабораторних робіт. Техніка хімічного експерименту: методичні вказівки до лабораторних робіт : Навч.-метод. матеріали. Луцьк, 2019. С. 37–47. URL: http://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/16539.

19. Харчова хімія: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.051701 "Харчові технології та інженерія" / Уклад.: Гуменюк О.Л. – Чернігів: ЧДТУ, 2013. – 151 с. URL: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/harch_himia_lab_prakt/.

20. Екологічний моніторинг довкілля – Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – офіційний сайт. URL: https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichnyj-monitoryng-dovkillya/.

21. Що таке пост моніторингу якості повітря і для чого він потрібен місту? – Екоклуб – природоохоронна громадська організація. Екоклуб – природоохоронна громадська організація – Офіційний сайт громадської організації "Екоклуб" з м. Рівне. URL: https://ecoclubrivne.org/air_quality_monitoring_post/.

22. Вагін А., Пірогова І. Автоматизований пост екологічного моніторингу інтегровано в європейську систему: кейс ПрАТ «Укрграфіт» | Журнал ECOBUSINESS. Журнал ECOBUSINESS. Екологія підприємства | ecolog-ua.com. URL: https://ecolog-ua.com/news/avtomatyzovanyy-post-ekologichnogo-monitoryngu-integrovano-v-yevropeysku-systemu-keys-prat.

23. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : Наказ МОЗ України від 14.01.2020 р. № 52 : станом на 8 жовт. 2021 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text.