

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля

Факультет \_\_\_\_\_ інженерії \_\_\_\_\_  
(повне найменування факультету)

Кафедра \_\_\_\_\_ хімічної інженерії та екології \_\_\_\_\_  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

Освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

напряму підготовки 101 – Екологія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва напряму підготовки)

спеціальності \_\_\_\_\_  
(шифр і назва спеціальності)

на тему: Моделювання розсіювання викидів ТЕЦ (м. Сєвєродонецьк) за допомогою програми EOЛ 2000

Виконав: студент групи \_\_\_\_\_ ПЕО-17з \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Борщун Ю.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище, та ініціали)

.....  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Кравченко І.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

.....  
(підпис)

Завідувач кафедрою \_\_\_\_\_ Суворін О.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

.....  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ Лисиця В.Є. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

.....  
(підпис)

Сєвєродонецьк - 2021 р.

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля**

Факультет \_\_\_\_\_ інженерії \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ хімічної інженерії та екології \_\_\_\_\_

Освітньо-кваліфікаційний рівень \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Напрямок підготовки 101 – Екологія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

**СПЕЦІАЛЬНІСТЬ**

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою ХІЕ

О.В. Суворін

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Борщун Юлії Валеріївни

**1. Тема проекту (роботи) :**

Моделювання розсіювання викидів ТЕЦ (м. Северодонецьк)  
за допомогою програми ЕОЛ 2000

**Керівник проекту (роботи) Кравченко Інна Василівна, к.т.н., доц.**  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету №53/15.25 від 18.03.2021.

**2. Строк подання студентом проекту (роботи) - 15 червня 2021 р.**

**3. Вихідні дані до проекту (роботи):** літературні, патентні та регламентні дані.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):**

Вступ. 1. Загальні відомості про ЕОЛ-2000. 2. Види моделей поширення домішок в атмосфері. 3. Ретроспективне дослідження рози вітрів м.Северодонецьк. 4. Токсикологічна характеристика шкідливих речовин, що містяться у викидах. 5. Характеристики джерела викидів та об'єкту впливу.6. Моделювання розповсюдження забруднюючих речовин на прилеглий території. Висновки. Анотація. Література.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

1. Поля ізоліній концентрацій (1 лист).
2. Таблиці ризиків (2 листи).

**6. Дата видачі завдання - 31 березня 2020 року.**

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	03.04.2021	
2	Загальні відомості про ЕОЛ-2000	13.04.2021	
3	Види моделей поширення домішок в атмосфері	18.04.2021	
4	Ретроспективне дослідження рози вітрів м.Сєверодонецьк	28.04.2021	
5	Токсикологічна характеристика шкідливих речовин, що містяться у викидах	15.05.2021	
6	Характеристики джерела викидів та об'єкту впливу	20.05.2021	
7	Моделювання розповсюдження забруднюючих речовин на прилеглий території	25.05.2021	
8	Висновки	30.05.2021	
<b>ГРАФІЧНА ЧАСТИНА</b>			
1	Поля ізоляції концентрацій	08.06.2021	
2	Таблиці ризиків	12.06.2021	

Студент

( підпис )

**Борщун Ю.В.**

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

( підпис )

**Кравченко І.В.**

(прізвище та ініціали)

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка		
Справ. №						Текстові документи				
		A4		1	<i>ПД(δ).08.01.ПЗ</i>	Пояснювальна записка дипломної роботи	85			
							<i>Графічні документи</i>			
		A4		2	<i>ПД(δ).08.02.ПІК</i>	Поля ізоліній концентрацій	1			
		A4		3	<i>ПД(δ).08.03.ТНР</i>	Таблиці неканцерогенних викидів	1			
		A4		4	<i>ПД(δ).08.04.ТКР</i>	Таблиці канцерогенних ризиків	1			
Подп. и дата										
Инв. № дубл.										
Взам. инв. №										
Инв. № подл.		<i>ПД(Б).08.01.ПЗ</i>								
		Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
		<i>Розробив</i>	<i>Борщун Ю.В.</i>			<i>Відомість дипломної роботи</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>	
		<i>Перевірів</i>	<i>Кравченко І.В.</i>					<b>4</b>	<b>85</b>	
		<i>Консультант</i>					<i>СНУ ім.В.Далія, гр.ПЕО-17з</i>			
		<i>Н. Контр.</i>								
		<i>Затвердив.</i>	<i>Суворін О.В.</i>							

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається з пояснювальної записки, що містить 85 сторінок (в тому числі 21 сторінка Додатків), 14 таблиць, 8 рисунків, використано 30 найменувань літературних джерел. Графічна частина складається з 3 аркушів.

### ЕОЛ-2000, СЕВЕРОДОНЕЦЬКА ТЕЦ, РОЗА ВІТРІВ, МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСПЮВАННЯ, ОЦІНКА РИЗИКІВ

У дипломній роботі проведено моделювання розповсюдження викидів забруднюючих речовин від стаціонарного джерела – димової труби Северодонецької ТЕЦ, що розташована на території ПрАТ «Северодонецьке об'єднання Азот» з метою оцінити ступінь забруднення атмосферного повітря на прилеглий території м.Северодонецьк, що створюється цим джерелом.

Моделювання проведено з використанням прикладної програми «ЕОЛ-2000 [h], v.4.0», розрахунковий модуль якої реалізує методику ОНД-86, та рекомендована для використання Міністерством охорони навколишнього середовища України (наказ 2464/19/4 від 15.03.2006р.).

Визначено, що за прийнятого сценарію (дані щодо викидів за 2007 р.) викиди від ТЕЦ у зимовий сезон за існуючою в Україні методикою (ОНД-86) не перевищують допустимі концентраційні межі, розміри санітарно-захисної зони не потребують коригування. Але викиди Северодонецької ТЕЦ створюють додаткові (хоч і не вагомі) ризики загрози здоров'ю, від яких здебільшого страждають уразливі групи населення – алергіки та астматики.

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Загальні відомості про ЕОЛ-2000.....	9
1.1 Загальна характеристика системи ЕОЛ 2000.....	10
2 Види моделей поширення домішок в атмосфері.....	17
2.1 Емпірично-статистичні моделі.....	17
2.2 Статистичні методи.....	18
2.3 Гаусові моделі.....	20
2.3.1 Нестационарна Гаусова модель.....	21
2.3.2 Стационарна Гаусова модель.....	22
2.3.3 Модель Пасквіла-Брігса.....	23
2.3.4 Модель Сетона.....	23
2.4 Модель турбулентної дифузії.....	24
2.4.1 Рішення рівняння турбулентної дифузії при постійних коефіцієнтах дифузії та за однорідних граничних умов.....	25
2.4.2 Рішення рівняння турбулентної дифузії при постійних коефіцієнтах дифузії за крайової умови «відображення».....	26
2.4.3 Рішення стаціонарного рівняння турбулентної дифузії при статичній залежності вертикального коефіцієнта турбулентної дифузії.....	26
2.5 Перелік основних моделей, що використовуються для оцінки забруднення атмосфери.....	26
3 Ретроспективне дослідження рози вітрів м.Сєверодонецьк.....	30
4 Токсикологічна характеристика шкідливих речовин, що містяться у викидах.....	39
5 Характеристики джерел викидів та об'єкту впливу.....	50
5.1 Характеристика Сєверодонецької ТЕЦ.....	50
5.2 Фізико-географічна і кліматична характеристика об'єкту.....	51
5.2.1 Фонове забруднення в м.Сєверодонецьк.....	54
6 Моделювання розповсюдження забруднюючих речовин на прилеглий території.....	55
6.1 Побудова полів розповсюдження забруднюючих речовин.....	55
6.2 Оцінка ризиків запланованої діяльності ТЕЦ на здоров'я населення м.Сєверодонецьк.....	57
Висновки.....	60
Література.....	61
Додаток.....	64

## ВСТУП

Населення України, а особливо Донбасу, за останні роки стало більш уразливим до впливу зовнішніх факторів, які прямо чи опосередковано відбиваються на здоров'ї нації. Серед регіональних чинників (природного, техногенного та соціального характеру) різного ступеню впливу можна виокремити зміну клімату та стихійні лиха (пожежі), економічну та політичну кризу, пандемію коронавірусу, загазованість міського повітря від збільшення інтенсивності транспортних потоків, нестачу зелених насаджень, нерівність людей у доступності та вартості медичного обслуговування, ліків, зниження рівня доходів населення при зростанні тарифів та цін, безробіття та міграцію, психологічний тиск засобів масової інформації, а також поведінкові фактори ризику – наркоманію, алкоголізм тощо.

Здоров'я населення – складова національної безпеки, є необхідною умовою розвитку держави. З 2014 року через збройний конфлікт Сєвєродонецько-Лисичанська агломерація (загальна площа 872 км<sup>2</sup>, в тому числі 187 км<sup>2</sup> – під містами обласного підпорядкування) є найголовнішим адміністративним та промислово-економічним центром Луганської області, розташована на відстані приблизно 25-30 км від лінії зіткнення. Міграційні процеси населення відбилися на формуванні сучасних функцій агломерації (селітебної, екологічної, рекреаційної, промислової та ін.) [1], що обумовлює актуальність досліджень даного регіону, у т.ч. екологічних та гігієнічних. Оцінка ризиків загрози здоров'ю проводиться з метою інформування населення та надання рекомендацій з управління ризиком владним структурам для їх мінімізації на основі реальних спостережень за станом довкілля (повітря, поверхневі води, ґрунти) та математичного моделювання поширення забруднюючих речовин у різних середовищах.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕОЛ 2000

Проблема забруднення атмосферного повітря - одна з найсерйозніших глобальних проблем, з якими зіткнулося людство. Небезпека забруднення атмосфери полягає не тільки в тому, що в чисте повітря потрапляють шкідливі речовини, небезпечні для живих організмів, але й в тому, що забруднення викликає зміну клімату Землі.

Забруднення повітря (атмосфери) в результаті діяльності людини призвело до того, що за останні 200 років концентрація діоксиду вуглецю зросла майже на 30%. Тим не менш, людство продовжує активно спалювати природне паливо і знищувати ліси. Процес настільки масштабний, що призводить до глобальних екологічних проблем. Забруднення повітря відбувається і в результаті інших видів людської діяльності. Спалювання палива на теплових електростанціях супроводжується викидом діоксиду сірки. З вихлопними газами автомобілів в атмосферу надходять оксиди азоту. При неповному згорянні палива утворюється чадний газ. Крім того, не слід забувати і про дрібнодисперсні тверді забруднювачі, такі як сажа та пил.

Адекватний опис хімічних процесів, що протікають в такому складному реакторі, яким є атмосфера, можливий лише із залученням математичних моделей, здатних в поєднанні з системами моніторингу, відобразити все різноманіття явищ і їх взаємодію, та дозволяють оцінити наслідки хімічних забруднень природного складу атмосфери різними джерелами.

Розвиток методів прогнозу забруднення повітря ґрунтується на результатах теоретичного та експериментального вивчення закономірностей розповсюдження домішок від їх джерел.

## **1.1 Загальна характеристика системи ЕОЛ 2000 [2]**

Автоматизована система розрахунку забруднення атмосфери призначена для оцінки впливу шкідливих викидів проєктованих і діючих (або тих, що реконструюються) підприємств на забруднення приземного шару атмосфери.

Розрахункові модулі системи реалізують "Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. ОНД-86".



Програма узгоджена Міністерством екології та природних ресурсів України листом від 22.05.2003 №5185/18-10.

Програма зареєстрована Державним агентством авторських і суміжних прав - свідоцтво про Державну реєстрацію виключного права власності ВП № 321 від 15.04.1999.

Система дозволяє розраховувати поля забруднень для точкової моделі джерела викиду шкідливих речовин з круглим і прямокутним гирлом труби, лінійної моделі, двох моделей майданного джерела (моделі ставка-відстійника і моделі джерела, що складається з безлічі одиночних точкових джерел, розташованих близько одна від одної, з однаковими значеннями конструктивних і технологічних характеристик). За бажанням користувача при оцінці впливу підприємств, що проектуються та реконструюються на забруднення атмосфери розрахунок проводиться з урахуванням фонових (існуючих) концентрацій. При розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері можуть враховуватися поправки на рельєф. У систему вбудована база даних ГДК та груп сумації.

Також в системі передбачені:

- графічна інтерпретація результатів розрахунку з можливістю зміни масштабу карти розсіювання речовин в атмосфері і отримання друкованої копії на принтері або плотері;
- апарат генерації, перегляду і друку результатів розрахунку в формі табличних документів; механізм створення на зовнішньому носії інформаційних файлів (так званих контрольних точок), що дозволяють переривати і відновлювати обчислювальний процес за бажанням користувача.

Автоматизована система розрахунку забруднення атмосфери розроблена для персональних ЕОМ IBM PC AT і сумісних з ними.

Програмні модулі системи реалізовані на мовах Object Pascal, C++.

*Технологія експлуатації системи ЕОЛ 2000*

Для розрахунку впливу деякого проектного підприємства (або того, що реконструюється) на забруднення атмосферного повітря користувачеві системи ЕОЛ 2000 необхідно:

- Створити новий об'єкт або відкрити існуючий;
- Наповнити таблиці НДІ (нормативно-довідникова інформація, рис.1.1), а саме, задати забруднюючі речовини, охарактеризувати регіон (місто), де розміщується

досліджуваний об'єкт, описати проммайданчик і джерела забруднення повітря, задати параметри забруднюючих речовин, ввести інформацію про екологічну обстановку, яка склалася в даному регіоні (задати фонові концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери);

- Сформувати завдання на розрахунок;
- Провести контроль даних;
- Провести розрахунок.

Результати розрахунку представляються у формі табличних документів і у вигляді карти розподілу концентрацій забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери.

Код вещества	Наименование вещества	ПДК (мг/м.куб)	Кoeffициент
90	Масло минеральное	0.05000000	1.000
91	Аэрозоль сварочная	0.05000000	1.000
123	Железа окись**[в пересч]	0.01000000	1.000
304	Азота окись	0.40000000	1.000
330	Ангидрид сернистый	0.50000000	1.000
337	Углерода окись	5.00000000	1.000
2704	Бензин (нефтяной, малос	5.00000000	1.000
2732	Керосин	1.20000000	1.000
2752	Уайт-спирит	1.00000000	1.000

Рис.1.1 - Таблиці нормативно-довідкової інформації

### *Опис метеоумов і географічна прив'язка регіону (Місто)*

Таблиця містить код і найменування міста, середні температури для самого жаркого і самого холодного місяців, граничну швидкість вітру, регіональний коефіцієнт стратифікації атмосфери, кут між північним напрямком і віссю ОХ основної системи координат, площу міста, значення широти і довготи (обов'язкова величина), частоту повторюваності вітру у % по восьми румбам (Роза вітрів), частоту повторюваності вітру за швидкостями (в разі розрахунку середньорічних концентрацій для утиліти "Показник Ризику").

При додаванні міста забезпечується автоматичне додавання за обраною метеостанцією. За вибором метеостанції обов'язково введення коду і максимальної швидкості вітру, що перевищується в 5% випадків.

Найменування міста уточняється, якщо воно не збігається з обраною метеостанцією.

Частота повторюваності напрямків вітру приймається відповідно до встановленого літнім або зимовим періодом розрахунку.

### *Клас небезпеки джерела*

Клас небезпеки джерела викиду шкідливих речовин відповідає класу небезпеки виробництва, до якого воно належить, і характеризує величину нормативної санітарно-захисної зони виробництва відповідно до Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів 1996 р. [3]:

1а (хімічні виробництва) клас - нормативна СЗЗ 3000 м;

1а (видобуток руди) клас - нормативна СЗЗ 1500 м;

1 клас (1б) клас - нормативна СЗЗ 1000 м;

2 клас - нормативна СЗЗ 500 м;

3 клас - нормативна СЗЗ 300 м;

4 клас - нормативна СЗЗ 100 м;

5 клас - нормативна СЗЗ 50 м.

*Формування завдання на розрахунок* (рис.1.2) включає в себе визначення:

- кількості найбільших вкладників;
- кількості максимальних концентрацій;
- проводити розрахунок з урахуванням фонових концентрацій або без урахування фону;
- завдання константи доцільності розрахунку;
- швидкості і напрямку вітру;
- будувати санітарно-захисну зону чи ні. Побудова розрахункової СЗЗ може проводитися з урахуванням рози вітрів, без урахування рози вітрів або з об'єднанням обох зон;
- будувати зону впливу чи ні;
- завдання найменування розрахунку - відбивається на титульному аркуші звіту;
- завдання шкідливих речовини і групи сумації;
- промислових майданчиків;
- розраховувати майданчиків у вигляді завдання сітки розрахунку, розрахункових точок (довільно або на кордоні НСЗЗ) і не розраховуваних областей

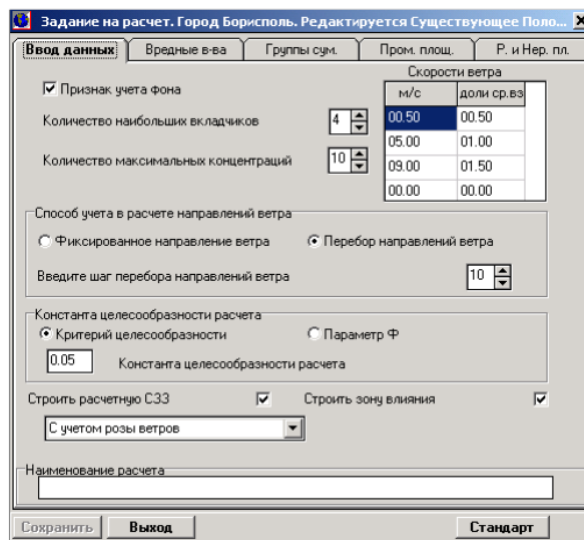


Рис.1.2 - Формування завдання на розрахунок

*Особливості розрахунків в режимі побудови розрахункової санітарно-захисної зони.*

1. У відповідність з прийнятим в метеорології визначенням за напрямок вітру приймається напрямок, звідки він дме.

2. Для проведення розрахунків з метою побудови розрахункової санітарно-захисної зони потрібно:

2.1. Проводити розрахунки з кроком перебору напрямків вітру, що не перевищує 10 град.

2.2. Проводити розрахунки з кроком перебору швидкостей вітру 0.5 м/с,  $U^*$  м/с (швидкість вітру, яка перевищується в даній місцевості в середньому багаторічному режимі у 5% випадках), 0.5, 1, 1.5 в частках від середньозваженої небезпечної швидкості вітру (формула 5.28 ОНД-86 [4]).

2.3. Включати до розрахунку всі забруднюючі речовини і все групи сумачії, присутні у викидах підприємства.

2.4. Встановлювати розрахунковий майданчик таким чином, щоб:

2.4.1. На кордоні розрахункової площадки не перевищувався рівень 1 ГДК для всіх речовин, груп сумачії включених в розрахунок.

2.4.2. Розмір розрахункової площадки відповідав наступним вимогам:

2.4.2.1. Центр симетрії - центр ваги джерел.

2.4.2.2. Довжина і ширина розрахункової площадки за формулою

$$L = \max (2000\text{м}, 50 \cdot H_i, 2\text{-а розміру НС33})$$

$$B = \max (2000\text{м}, 50 \cdot H_i, 2\text{-а розміру НС33})$$

де  $H_i$  - висота джерела, НС33 - нормативна санітарно-захисна зона.

Довжина, ширина наводиться до величини, кратної кроку.

2.4.2.3. Шаг розрахункового майданчика береться в залежності від класу небезпеки джерела викидів

1,2 клас - 250м

3 клас-100м

4 клас-50м

5 клас-25м.

*Модуль розрахунку* - головна частина процесу моделювання. Тут - автоматично проводиться оцінка впливу змодельованого об'єкта (промислового майданчика забруднення атмосфери в розрахункових точках.

Головна формула:

$$C = \max (\Sigma C_i),$$

де  $C$  - максимальна приземна концентрація в розрахунковій точці ( $\text{мг}/\text{м}^3$  або частках ГДК);

$C_i$  - концентрація, створювана окремими джерелами, включеними в розрахунок, функція від характеристик джерел, метеорологічних і географічних умов регіону, швидкості вітру, напрямку вітру і розташування точки розрахунку і джерела викиду. Максимальна концентрація - результат перебору безлічі концентрацій створюваних джерелами за різною швидкістю вітру і при різних напрямках вітру.

Головні відмінні риси обчислення: підтримка екстремального моделювання ситуацій. Система автоматично вибирає самий негативний прогноз забруднення атмосфери в рамках досягнення максимальної концентрації на розрахунковій майданчику. Система підтримує обчислення концентрації в абсолютних одиницях ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) також як у відносних одиницях (частки ГДК).

Моделювання включає дві стадії:

- обчислення можливих впливів джерел на повітряне забруднення;
- обчислення концентрацій в точках розрахунку.

Цей підхід дозволяє прискорювати процес обчислення мінімізацією ітерацій обчислень можливості ігнорування частини викидів після першої стадії.

Можливо оцінити існуючі рівні фонові концентрації, відомі як результати вимірювання, без включення всіх джерел, які виробляють фонові концентрації. Якщо необхідно оцінити існуючий джерело, можливо виключити вплив фону на рівні концентрацій перед обчисленням.

## *Побудова нормативної та розрахункової санітарно-захисних зон*

Розрахункова санітарно-захисна зона будується відповідно до ОНД-86 з метою перевірки відповідності забруднення атмосферного повітря, викликаного викидами діючих або проєктованих підприємств, нормативній санітарно-захисній зоні.

СЗЗ є зовнішньою обвідною лінією сукупного поля забруднення з рівнем 1 ГДК щодо кордону джерел викиду підприємства з урахуванням середньорічної повторюваності вітрів по румбам.

Сукупне поле забруднення утворюється об'єднанням полів забруднення забруднюючих речовин і груп сумації, що входять до складу викиду підприємства з урахуванням фону.

У разі, якщо фонові концентрації вже перевищують 1 ГДК допускається визначати розрахункову санітарно-захисну зону без урахування фону.

Під кордоном джерел викидів підприємства розуміється лінія, що огинає зону, в межах якої розташовуються труби та інші джерела викиду.

Формула розрахунку розміру санітарно-захисної зони для одного інгредієнта (забруднюючої речовини або групи сумації) в заданому напрямку становить:

$$L = L_0 * P / P_0$$

де  $L_0$  - максимальна розрахункова протяжність ділянки місцевості (м), де концентрації вмісту заданого інгредієнта перевищують ГДК по заданому напрямку.

$P$  - середньорічна повторюваність напрямків вітрів румба, протилежної заданому напрямку, по 8-румбовій розі вітрів (%)

$P_0 = 12.5\%$  - повторюваність вітрів одного румба при круговій 8-румбовій розі вітрів

Значення відраховуються від кордону джерел по заданому напрямку від центру тяжіння джерел викиду.

Під центром тяжіння джерел викиду розуміється точка, координати якої дорівнюють:

$$X_c = \sum X_i,$$

$$Y_c = \sum Y_i,$$

де  $(X_i; Y_i)$  - координати  $i$ -го джерела викиду в основній системі координат,

$N$  - кількість джерел викиду.

Таким чином, формула розрахунку розміру санітарно-захисної зони в заданому напрямку становить:  $l = \max (l_i)$ .

## 2 ВИДИ МОДЕЛЕЙ ПОШИРЕННЯ ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ

При розв'язанні задач аналізу та прогнозування забруднення атмосферного повітря актуальною є проблема вибору математичного апарату для опису розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері. Величина концентрацій забруднюючих домішок в атмосфері може бути отримана в рамках моделей, що розрізняються способом опису процесів розподілу та способом завдання поля швидкості вітру. Ці відмінності можуть відігравати значну роль у формуванні розрахункових значень концентрацій домішки на різних відстанях від джерела та в різних метеорологічних умовах, визначаючи, таким чином, характерну область застосування тієї або іншої моделі [5].

Серед існуючих методів опису закономірностей розповсюдження домішок залежно від математичного апарату можна виділити:

- а) емпірично-статистичні методи;
- б) статистичні методи;
- в) гаусові моделі;
- г) моделі турбулентної дифузії.

### 2.1 Емпірично-статистичні моделі

Емпірично-статистичні моделі є найпростішими моделями й об'єднують практично всі методи первинної обробки експериментальної інформації, що формулюється у вигляді алгебраїчних співвідношень.

Основною метою побудови цих моделей є:

- упорядкування або агрегація інформації щодо показників забруднення повітря;
- пошук, кількісна оцінка та змістовна інтерпретація причинно-наслідкових зв'язків між рівнем забруднення атмосфери та кількістю викидів від джерел забруднення;
- ідентифікація параметрів розрахункових рівнянь, їх зміна в часі та просторі тощо [6, 7].

Емпірично-статистичні моделі часто слугують «сировиною» та обґрунтуванням підходів до побудови моделей інших типів (у першу чергу, імітаційних).

Прикладом моделі цього типу можуть бути моделі простих поверхневих джерел, які співвідносять річні концентрації забруднюючих речовин над міською територією з

інтенсивностями джерел, помноженими на обернену величину середньої швидкості вітру. Для цієї найпростішої моделі ступінь забруднення пропорційний кількості викидів. Цей коефіцієнт пропорційності використовується для розрахунку зміни концентрації забруднення атмосфери при зміні кількості викидів. Такі емпіричні моделі прогнозують ступінь майбутнього забруднення повітря в залежності від росту викидів за ретроспективними даними про якість навколишнього атмосферного повітря [8].

Емпірично-статистичні моделі є максимально спрощеними та не можуть забезпечити необхідну точність оцінки якості атмосферного повітря. Проте вони можуть бути використані для експрес-оцінки та скринінгового аналізу середньорічного забруднення повітряного середовища міста та можуть вказати на необхідність або недоцільність більш точної подальшої оцінки екологічного ризику, спричиненого забрудненням атмосфери даної території.

## 2.2 Статистичні методи

Статистичні методи за допомогою кореляційного та спектрального аналізу або стохастичних рівнянь пов'язують між собою різноманітні метеорологічні параметри, властивості підстилаючої поверхні та параметри якості повітря. До таких методів належать:

а) регресійні моделі, тобто регресійне рівняння, що використовується для прогнозування рівня забруднення повітря [9]:

$$C = f(K_p), \quad (2.1)$$

де  $C$  — концентрація;

$f$  — функція регресії;

$K_p$  — деякий комплексний метеорологічний індекс:

$$K_p = (\Delta P + 1,25\Delta H)/(\gamma - 1,5) \quad (2.2)$$

де  $\Delta P$ ,  $\Delta H$  — різниці тиску та геопотенціалу на рівні Землі та на поверхні 850 гПа;

$\gamma$  — вертикальний градієнт температури;

б) авторегресійні моделі типу

$$f(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i y(t-i) + \beta, \quad (2.3)$$



для аналізу зміни у часі метеорологічних параметрів або показників забруднення атмосфери, значення яких у даний момент часу  $f(t)$  залежить від значень цього параметру в попередні моменти часу. Такий метод послідовної авторегресії є досить простим для обчислення й отримав широке розповсюдження при прогнозуванні рівнів забруднення повітря з використанням як предиктанту узагальненого статистичного показника, що характеризує забруднення повітря в місті в цілому декількома домішками одночасно. Як предиктант прийнято параметр  $P$ , що визначається за формулою:

$$P = m/n, \quad (2.4)$$

де  $n$  — сумарна кількість спостережень за концентраціями всіх домішок на всіх стаціонарних пунктах за певний проміжок часу;

$m$  — кількість спостережень із загального числа  $n$  із концентраціями домішок вище певного критичного значення (середньої за сезон чи місяць концентрації, ГДК й ін.) [10].

Серед переваг статистичних методів можна назвати відносно простий математичний апарат моделей, невисоку вартість розробки та низькі потреби в обчислювальних ресурсах. Недоліком методу є високі значення похибок при довгострокових прогнозах унаслідок значних відхилень усередині вибірки даних для прогнозу. Статистичні моделі не можуть використовуватися поза межами початкових умов, які визначаються вихідними даними, що застосовувалися при їхній розробці й оптимізації. Ці умови звичайно містять у собі обмеження на варіації метеорологічних умов і варіацію просторового розміщення викидів. Статистичні моделі не можна застосовувати також при значних змінах у розподілі джерел викидів. Дані статистичних обробок не можуть бути перенесені на інші об'єкти без переоцінки емпіричних параметрів чи коефіцієнтів [8]. Для уточнення вихідних даних і підвищення репрезентативності результатів статистичних моделей вводять граничні умови, які є специфічними для кожної конкретної задачі прогнозу розповсюдження домішки в атмосферному повітрі.

### 2.3 Гаусові моделі

Гаусові моделі засновані на гіпотезі про те, що розподіл часток у струмені або хмарі близький до нормального. Ці моделі використовують для визначення локальної

дисперсії, а їх аналітичний розв’язок отриманий для стаціонарних та нестаціонарних розподілів. При цьому розглядають певну множину часток домішки, що викидаються з точкового джерела. Розподіл цих часток у момент часу  $T$  можна записати у вигляді:

$$\sigma^2(T) = X^2, \quad (2.5)$$

де  $X$  — середнє значення відстані від центра пучка часток.

Для обчислення концентрації забруднюючої домішки  $C$  використовується гаусівський розподіл зі стандартними відхиленнями  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  із рівняння (2.5).

Гаусівські моделі з різними способами завдання  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  мають свої назви. Наприклад, модель Пасквіла-Брігса, модель Пасквіла-Гіфорда, формула Сетона. Ці моделі є досить поширеними, вони покладені в основу моделей оцінки якості атмосферного повітря, що використовуються в багатьох європейських країнах (табл.1.1) [11].

Таблиця 1.1 - Європейські моделі розповсюдження домішок в атмосфері на основі Гаусівського розподілу

Модель	Країна
STACKS	Нідерланди, Іспанія, Польща
IDFM	Бельгія
OML	Данія
ONM9440	Австрія

### 2.3.1 Нестационарна Гаусова модель

Рівняння, що описує розподіл забруднюючої речовини для нестаціонарного випадку

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{((x-x_0) - ut)^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (2.6)$$

де  $C(x, y, z, t)$  — концентрація забруднюючої речовини в точці з координатами  $x, y, z$  в момент часу  $t$ , г/м<sup>3</sup>;

$Q$  — потужність безперервного точкового джерела забруднення, г/с (тут просто кількість забруднення, г);

$u$  — швидкість вітру на висоті  $H$  метрів, м/с;

$H$  — ефективна висота джерела забруднення, м;

$t$  — час транспорту, с;

$\sigma_x, \sigma_y$  — горизонтальні дисперсії, м;

$\sigma_z$  — вертикальна дисперсія, м;

$x_0, y_0, H$  — координати точкового джерела забруднення, м.

Параметри  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  збільшуються з відстанню  $x - x_0$ , швидкість збільшення залежить від інтенсивності турбулентності та тим самим від стабільності атмосфери. Для практичного використання залежності від  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  відстань визначаються на підставі експериментальних даних.

### 2.3.2 Стаціонарна Гаусова модель

Інтегруючи по часу концентрацію забруднень, що викидаються з безперервного джерела, можна отримати усталений розподіл концентрації для стаціонарної моделі Гауса

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (2.7)$$

В обох випадках напрямок вітру збігається з напрямком осі  $x$ . В Гаусовій моделі також передбачається, що має місце відображення забруднюючої речовини від поверхні землі. Відображення характеризується членом у фігурних дужках. Модель побудована в припущенні однорідності та стійкості атмосфери.

Перевагою використання Гаусових моделей є те, що вони прості при реалізації, оскільки одержані аналітичні залежності концентрацій домішок від часу та координат простору не вимагають великих об'ємів обчислень, й оперативні.

Представлена модель має ряд недоліків:

- не враховує рельєф поверхні;
- не враховує зміну метеорологічних параметрів у просторі й у часі;
- не описує роботу джерел забруднення працюючих обмежений час;
- використовуються характеристики отримані для наземних, а не підведених джерел;
- не враховує вертикальну структуру прикордонного шару;
- використовуються для визначення концентрації забруднюючих речовин-газів, густина яких близька до густини повітря;
- використовуються лише для метеоситуацій, для яких швидкість вітру не менша за 1 м/с [12,13,14].

Гаусові моделі можуть адекватно описувати розподіл забруднюючої речовини тільки в горизонтальному напрямку, для розрахунку вертикального профілю вони застосовні на дуже коротких відстанях.

### 2.3.3 Модель Пасквіла-Брігса

Значення дисперсій задаються у вигляді:

$$\sigma_y = p_1 x (1 + q_1 x)^{-0.5}, \quad (2.8)$$

$$\sigma_z = p_2 x (1 + q_2 x)^{-1}, \quad (2.9)$$

де  $p_i, q_i$  — задаються таблично для кожного класу стійкості атмосфери (табл.2.2).

Для відстаней від 100 м до 10 км у разі рівної відкритої місцевості [15]

$$\sigma_y = \alpha_x x / \sqrt{(1 + 10^{-4} x)}, \quad (2.10)$$

$$\sigma_z = \alpha_z x / s_z(x). \quad (2.11)$$

Таблиця 2.2 — Класи стійкості Пасквіла

Швидкість вітру, м/с	Класи стійкості атмосфери А-Ф				
	Денний час. Рівень сонячного освітлення			Нічний час. Хмарність	
	Сильний	Середній	Слабкий	> 50%	< 50%
< 2	А	А-В	В	Е	Ф
2-3	А-В	В	С	Е	Ф
3-5	В	В-С	С	Д	Е
5-6	С	С-Д	Д	Д	Д
> 6	С	Д	Д	Д	Д

### 2.3.4 Модель Сетона

Спочатку Сетон отримав формулу для наземних джерел забруднень, яка підтвердилася результатами спостережень у Портоні (Англія) за рівноважних умов для порівняно невеликих відстаней (кілька сотень метрів). Розподіл домішки поблизу точкового джерела в різних напрямках описується гаусовським законом. Концентрація домішки в точці  $(x, y, z)$  від джерела, розташованого на початку координат, пропорційна добутку [15]

$$p_y = (1/\sigma_y \sqrt{2\pi}) \exp(-y^2/2\sigma_y^2) \quad (2.12)$$

на аналогічні функції  $p_z$  і  $p_x$ ,

де  $\sigma_y^2$  — дисперсія розподілу домішки в напрямку  $y$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{2}c_i^2(ut)^{2-n}; \quad (2.13)$$

$c_i$  — деякі коефіцієнти;

$u$  — середня по висоті швидкість вітру;

$t$  — час після моменту дії джерела (у разі миттєвого джерела), для безперервного джерела вважається, що  $t = x\sqrt{u}$ ;

$i = 1, 2, 3$  — відповідає  $x, y, z$ ;

параметр  $n$  можна визначити по вертикальному профілю швидкості вітру, тим самим побічно врахувати умови стратифікації [16].

## 2.4 Модель турбулентної дифузії

Повне рівняння масопереносу в загальному вигляді описується рівнянням турбулентної дифузії

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + (\frac{\partial}{\partial x})uC + (\frac{\partial}{\partial y})vC + (\frac{\partial}{\partial z})\omega C = \\ = (\frac{\partial}{\partial x})D_x(\frac{\partial C}{\partial x}) + (\frac{\partial}{\partial y})D_y(\frac{\partial C}{\partial y}) + (\frac{\partial}{\partial z})D_z(\frac{\partial C}{\partial z}) \end{aligned} \quad (2.14)$$

Гранична умова

$$D_z(\frac{\partial C}{\partial z}) + \omega C = \beta C, \quad (2.15)$$

де  $C$  — концентрація забруднюючої речовини,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$D_x, D_y, D_z$  — коефіцієнти турбулентної дифузії,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$u$  — середня швидкість вітру вздовж осі  $x$ ,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$v$  — середня швидкість вітру вздовж осі  $y$ ,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\omega$  — середня швидкість седиментації частинок забруднюючої речовини,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$\beta$  — постійна,  $\text{м}/\text{с}$ . При  $\beta = 0$  гранична умова означає, що потік на поверхні дорівнює нулю, забруднююча речовина залишається в атмосфері «відбиваючись» від поверхні землі. При  $\beta = \infty$  забруднююча речовина «прилипає» до поверхні. У проміжному випадку  $0 < \beta < \infty$  речовина частково «відбивається», частково «прилипає», зазвичай розглядаються лише дві крайні можливості - «відображення» або «прилипання».

Аналітичне рішення рівняння турбулентної дифузії має в окремих випадках у припущеннях конкретних функцій коефіцієнтів дифузії від координат.

Даний підхід дозволяє:

- вирішувати як стаціонарну, так і нестаціонарну трьохвимірну задачу розподілу домішок в атмосфері;
- визначати рівень концентрації в полі змінного вітру;
- визначати рівень концентрації при складних профілях вітру та коефіцієнтах турбулентної дифузії (відмінних від степеневих);
- здійснювати моделювання розповсюдження домішок від джерел різної форми (точкові, лінійні, площадкові та т. д.);
- здійснювати дослідження турбулентної дифузії домішок в умовах складного рельєфу підстилаючої поверхні.

Не зважаючи на значні переваги даного підходу його використання до недавнього часу було обмеженим. Це було пов'язано з певними труднощами його реалізації [14,17].

#### **2.4.1 Рішення рівняння турбулентної дифузії при постійних коефіцієнтах дифузії та за однорідних граничних умов**

Рішення рівняння турбулентної дифузії при постійних коефіцієнтах турбулентної дифузії  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$  при дії постійного точкового джерела забруднення з урахуванням однорідних граничних умов

$$u(\partial C/\partial x) = D(\partial C/\partial x + \partial C/\partial y + \partial C/\partial z) + Q\delta(r), \quad (2.16)$$

де  $Q\delta$  — дія постійного точкового джерела забруднення,  $\delta$  — дельта-функція Дірака;

$Q$  — потужність точкового джерела забруднення, г/с;

$r$  — відстані від джерела, м;

$D = D_x = D_y = D_z$  — коефіцієнт турбулентної дифузії, м<sup>2</sup>/с.

Вирішення рівняння

$$C(x, y, z) = (Q/4\pi Dr)\exp[-(u/2D)(r - x)] \quad (2.17)$$

Відповідно до цієї моделі, залежність концентрації від відстані до джерела носить гіперболічний характер, у той час як по моделі Гауса ця залежність носить характер експоненціального закону убудання.

#### **2.4.2 Рішення рівняння турбулентної дифузії при постійних коефіцієнтах дифузії за крайової умови «відображення»**

Рішення рівняння турбулентної дифузії при  $u = \text{const}$ , і наявність у точці  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = h$  стаціонарного точкового джерела забруднення та за крайової умови «відображення» на рівні  $z = 0$ :

$$D_z(\partial C/\partial z) + \omega C = 0, z = 0 \quad (2.18)$$

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi x \sqrt{D_y D_z}} \exp\left[-\frac{uy^2}{4D_x \cdot x}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{u(z-h)^2}{4D_z \cdot x}\right] + \exp\left[-\frac{u(z+h)^2}{4D_z \cdot x}\right] \right\} \quad (2.19)$$

### 2.4.3 Рішення стаціонарного рівняння турбулентної дифузії при статичній залежності вертикального коефіцієнта турбулентної дифузії

Математична постановка задачі

$$u(\partial C/\partial x) = D_y(\partial^2 C/\partial y^2) + (\partial/\partial z)D_z(z)(\partial C/\partial z), \quad (2.20)$$

де  $D_y = \text{const}$  — коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії,  $\text{m}^2/\text{c}$ ;

$D_z(z) = D_1(z/z_1)^{1-1/p}$  — коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії,  $\text{m}^2/\text{c}$ ;

$p$  — параметр термічної стійкості повітря,  $p = \infty$  — байдужа стратифікація;  $p > 0$  — стійка стратифікація;  $p < 0$  — конвекція.

Гранична умова або «відбиття», або поглинання.

Рівняння записано в нехтуванні дифузії вздовж напрямку вітру (вісь  $x$ ) [16].

### 2.5 Перелік основних моделей, що використовуються для оцінки забруднення атмосфери

Кількість і характер моделей визначають, з одного боку, колом завдань, що стоять перед екологічними службами, а з іншого - вимогами до точності моделювання. Різноманітність вимог до характеру оцінок забруднення і висока специфічність поширення викидів домішок у різноманітних метеоумовах призводять до необхідності використання тих моделей, які перераховані нижче.

1) Штатні моделі служб цивільної оборони. Стандартна методика заснована на емпіричних моделях і дозволяє визначити максимально можливу зону ураження при викидах отруйних речовин. Модель вказує на реальне положення хмари викидів в той чи інший момент часу, а позначає кордони території, в межах якої концентрація отруйних речовин може досягти небезпечних для здоров'я людини значень при несприятливих метеоумовах. Модель проста і швидко працює.

2) Стандартні моделі забруднення атмосфери стаціонарними джерелами, засновані на ОНД-86. Моделі можуть бути використані для аналізу квазістаціонарних

процесів, коли характерний час викидів токсичних речовин перевищує характерний час переміщення повітряних мас в аналізованій області простору (наприклад, випадки пожеж або витоків на продуктопроводах). Модель емпірична і дозволяє розрахувати встановлений розподіл концентрацій токсиканту при заданому вітрі і максимально несприятливому з точки зору розсіювання домішок стану атмосфери.

3) Моделі МАГАТЕ (міжнародний стандарт) для розрахунків забруднень атмосфери, створених стаціонарними джерелами домішок. Це найбільш повні з існуючих в даний час емпіричних моделей. Характер їх деталізації дозволяє враховувати особливості місцевих метеорологічних умов і проводити розрахунки розподілів концентрації домішок в поточних метеоумовах. Моделі вимагають значних зусиль по прив'язці до місцевих умов. Час обчислень за моделям 2 і 3 практично однаковий.

4) Найпростіші нестаціонарні моделі для розрахунку поширення хмари забруднюючих речовин, призначені для експрес-прогнозу. Моделі будуються на основі методик і моделей МАГАТЕ і дозволяють розрахувати траєкторію і час руху хмари викидів до втрати токсичності або в області, що цікавить в поточних метеоумовах. Сталих стандартів на такі моделі немає.

5) Нестационарні моделі забруднення, що враховують неоднорідність підстилаючої поверхні. Квазітривимірні моделі, засновані на використанні напівемпіричних моделей МАГАТЕ з рішенням рівняння переносу-дифузії домішок у приземному шарі. Для підвищення швидкості і точності обчислень використовують високоефективні числові методи з урахуванням специфіки розв'язуваної задачі. Використовуються у випадках, коли необхідно врахувати неоднорідність підстилаючої поверхні, а обчислювальні ресурси та/або брак інформації не дозволяють використовувати моделі 6.

6) Найбільш повні і досконалі нестаціонарні моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері, в які включені розрахунки мезометеорологічних характеристик атмосфери з урахуванням орографії (рельєф місцевості). Моделі засновані на вирішенні завдань мезометеорологічного прогнозу та вирішенні тривимірного рівняння переносу-дифузії домішки. Вимагають значних обчислювальних ресурсів і докладного задання великих обсягів вхідних даних і початкової інформації. Використання моделей цього класу виправдано, коли від результатів експертизи залежать життя і долі людей, а специфіка метеоумов і



орографія місцевості такі, що перераховані вище моделі не можуть бути застосовані. Це випадки великих аварій, що мали тяжкі наслідки, або експертиза проектів з прогнозом можливих подій, що можуть призвести до таких наслідків.

7) Моделі, що дозволяють прогнозувати забруднення при штильових умовах різних типів. Характеристики розповсюдження і дифузії домішок у штильових умовах і під час вітру розрізняються настільки, що для їх опису потрібні різні моделі. Характер поширення забруднення під час штилю істотно залежить від стану атмосфери, орографії місцевості і початкових умов.

8) Блок моделей, що дозволяють врахувати процеси хімічної трансформації домішок. У разі необхідності його підключають до моделей 4-7. Використовується в тих випадках, коли для аналізу події істотним є облік хімічних реакцій, що протікають в хмарі викидів, наприклад, у випадках з можливістю значного підвищення або зменшення токсичності. Підключення блоку може значно, у кілька разів, уповільнити час роботи розрахункової моделі.

9) Спеціальні моделі для районування територій за ймовірністю аварій та за ступенем загрози промисловим об'єктам і населенню, які будують на основі середньостатистичних моделей з використанням інформації про «троянду вітрів» даної місцевості. Суттєвим моментом при побудові моделей цього класу є необхідність врахування реакції об'єкта, який зазнає впливу хмари викидів. Характер реакції об'єкта залежить від його властивостей, типу і концентрації токсичної речовини і тривалості її впливу. Об'єктом може бути і людина, і промислове підприємство. Моделі для оцінки забруднення території або об'єктів будуються на основі моделей 1-8. Вибір моделі визначається характером необхідної оцінки. Наприклад, для оцінки впливу на здоров'я населення в разі викиду отруйних газів можна використовувати модель 1, у разі нешкідливих домішок взагалі не потрібно розрахунків, а проміжні випадки як завжди складні для моделювання.

10) Комплекс синоптико-статистичних моделей та автоматизованого прогнозування несприятливих метеорологічних умов (НМУ), призначений для оцінки і прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря, а також прийняття рішення щодо атмосфероохоронної діяльності як у короткостроковому, так і в довгостроковому аспектах. Для отримання методик з високою якістю прогнозування необхідні дослідження з діагностики погодних процесів синоптичного масштабу, що призводять до реалізації НМУ, і на основі цих досліджень створення класифікації

синоптичних процесів. Розробка розрахункових моделей базується на багатовимірному статистичному апараті. Побудова прогностичних залежностей заснована на теорії розв'язання некоректних задач, що дозволяє одержувати стійкі рішення за наявності корегованості параметрів, що описують синоптичну ситуацію. Прогностична система включає в себе: прийом і обробку метеорологічної інформації з каналів зв'язку, контроль і коригування даних, архівування та власне прогнози.

### 3 РЕТРОСПЕКТИВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗИ ВІТРІВ М.СЄВЕРОДОНЕЦЬК

Протягом останніх років атмосферне повітря міста Северодонецьк має стійке забруднення формальдегідом, вміст якого багатократно перевищує середньодобову граничнодопустиму концентрацію [18]. Присутність цієї речовини у викидах стаціонарних джерел не властива промисловим підприємствам, офіційно зареєстрованим у м.Северодонецьк.

Забруднення повітря в місті є складним багатofакторним явищем. Важлива роль у формуванні певного рівня забруднення атмосфери належить метеорологічним величинам.

Одна з вірогідних причин підвищеного вмісту формальдегіду в м.Северодонецьк – зміна клімату та перерозподіл напрямів і швидкостей пануючих вітрів з переважанням західних, північно-західних та південно-західних, які вносять забруднюючі речовини від джерел м.Рубіжне та м.Лисичанськ.

З метою перевірки цієї гіпотези нами виконані ретроспективні дослідження рози вітрів м.Северодонецьк на базі сервісу глобального моніторингу довкілля та безпеки Copernicus Climate Change Service, що вміщує сімейство додатків, які використовують Climate Data Store (CDS) – сховище кліматичних даних з 1979 р. по теперішній час. Ці дані дозволяють здійснювати кліматичний аналіз, повторний аналіз, прогнози та індикатори в часових і просторових масштабах, що мають відношення до стратегій адаптації та пом'якшення наслідків від зміни клімату для різних секторальних і соціальних областей. Wind rose at location [19] – програма, створена в CDS Toolbox на мові Python з відкритим кодом, що використовується для обробки даних, дозволяє побудувати розу вітрів станом на бажаний час у заданих просторових координатах.

Нами проаналізовані місячні рози вітрів за 1980, 2000 та 2020 роки і отримані усереднені річні рози вітрів (табл.3.1-3.3 та рис.3.1-3.4).

Таблиця 3.1 – Повторюваність вітрів (%) та їх швидкості (м/с) по місяцях у 1980 р.

1980	Од.вим.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
січень	%	12,23	1,48	22,45	19,62	10,48	10,62	12,23	10,89
	м/с	2,57	2,57	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
лютий	%	6,32	15,95	31,75	12,36	6,03	5,32	8,05	14,22
	м/с	2,57	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	2,57
березень	%	6,72	17,47	41,4	7,8	3,09	2,69	14,62	6,18
	м/с	2,57	2,57	6,94	4,37	4,37	4,37	2,57	2,57
квітень	%	10,56	10,83	35,14	8,61	8,75	4,72	9,17	12,22
	м/с	2,57	2,57	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	2,57



жовтень	%	14,38	21,24	25,94	7,53	13,31	9,41	4,44	3,76
	м/с	2,57	2,57	4,37	2,57	2,57	2,57	1,03	2,57
листопад	%	7,36	7,64	31,94	36,81	3,89	1,94	4,03	6,39
	м/с	2,57	2,57	4,37	4,37	2,57	2,57	2,57	2,57
грудень	%	3,63	1,21	9,54	20,7	18,41	27,02	9,41	10,08
1999	м/с	4,37	2,57	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
	середнє	10,86	9,76	13,53	14,62	9,99	14,47	13,55	13,26
	м/с	3,17	2,61	3,47	3,62	3,17	3,47	3,06	3,47

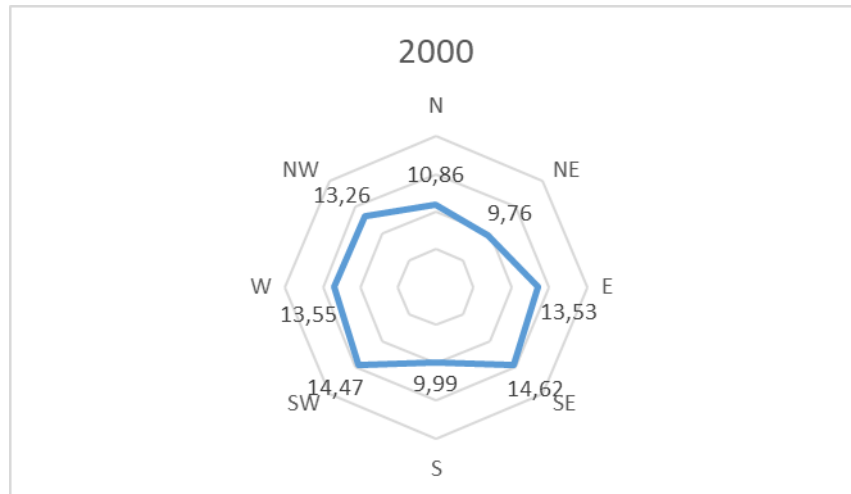


Рис.3.2 – Усереднена роза вітрів у м.Сєвєродонецьк, 2000 р.

Таблиця 3.3 – Повторюваність вітрів (%) та їх швидкості (м/с) по місяцях у 2020 р.

2020	Од.вим.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
січень	%	7,8	7,8	0,94	3,09	16,53	19,35	29,97	14,52
	м/с	2,57	4,37	1,03	2,57	2,57	4,37	4,37	4,37
лютий	%	8,48	8,91	6,03	6,9	26,44	17,1	20,55	5,6
	м/с	2,57	4,37	2,57	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
березень	%	7,62	13,84	12,23	17,88	14,92	13,44	10,35	10,08
	м/с	4,37	4,37	4,37	4,37	2,57	4,37	4,37	4,37
квітень	%	8,75	1,94	1,11	0,56	11,39	31,81	19,31	25,14
	м/с	4,37	2,57	4,37	2,57	2,57	4,37	4,37	4,37
травень	%	4,7	4,3	13,98	9,27	13,31	20,7	20,83	12,9
	м/с	2,57	2,57	2,57	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37
червень	%	10,14	10,28	40,69	9,17	9,72	10,56	4,03	5,42
	м/с	4,37	2,57	4,37	4,37	2,57	2,57	2,57	1,03
липень	%	14,92	24,6	15,99	10,62	3,23	10,35	7,8	12,5
	м/с	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	4,37
серпень	%	21,91	19,22	3,36	10,08	6,32	1,75	13,71	23,66
	м/с	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57
вересень	%	6,25	5,28	33,89	19,03	3,47	4,58	10,69	16,81
	м/с	4,37	2,57	4,37	6,94	2,57	2,57	2,57	4,37
жовтень	%	1,21	2,96	27,96	31,59	6,05	13,71	13,84	2,69
	м/с	2,57	1,03	4,37	4,37	2,57	2,57	2,57	2,57
листопад	%	10,06	6,19	32,20	7,43	4,18	10,06	14,09	15,79
	м/с	2,57	2,57	4,37	4,37	4,37	2,57	4,37	2,57
грудень	%	1,21	2,82	14,52	24,46	12,5	20,97	18,01	5,51

2019	м/с	4,37	2,57	4,37	4,37	2,57	4,37	4,37	4,37
	середнє	8,71	9,76	14,87	10,64	11,25	15,51	16,41	12,88
	m/s	3,04	3,02	3,19	3,47	3,17	3,77	3,77	3,49

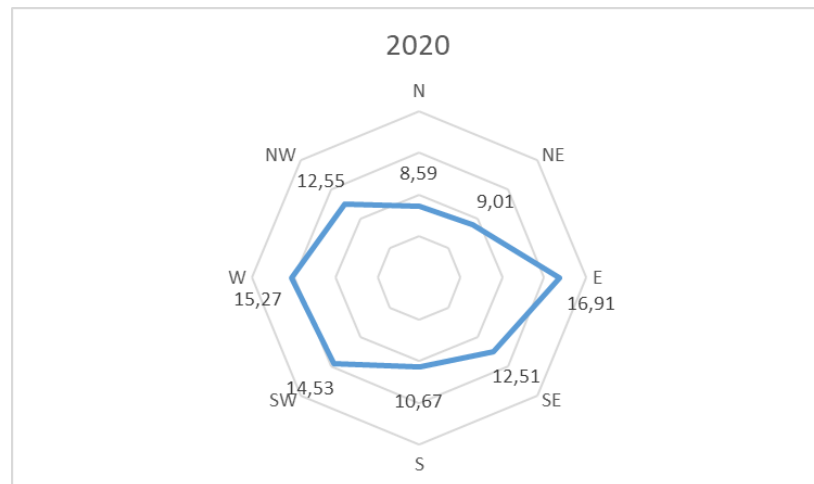


Рис.3.3 – Усереднена роза вітрів у м.Сєвєродонецьк, 2020 р.

Їх первинне порівняння (рис.3.4) не підтверджує думку про те, що за останні два десятиріччя частка західних та північно-західних вітрів збільшилась. Навпаки, можна бачити майже однакову повторюваність західних вітрів, а от частка східних холодних вітрів, що відносять забруднене повітря від стаціонарних джерел ПрАТ «Сєвєродонецьке об'єднання Азот» у протилежний бік від селітебної зони, скоротилася порівняно з 1980 роком та дещо зросла частка теплих південно-західних вітрів.

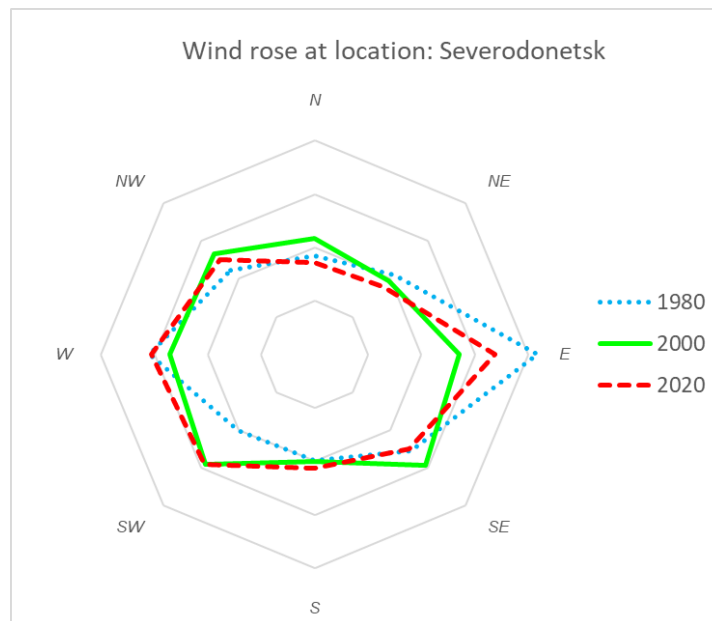


Рис.3.4 – Порівняння річної рози вітрів у м.Сєвєродонецьк (1980-2020рр.)

Якщо ж проаналізувати сезонні рози вітрів за ці ж роки (табл. 3.4-3.6, рис.3.5), то висновки набагато відрізняються від попередніх: у зимовий період значно виросла

частка теплих західних, південно-західних та південних вітрів при одночасному скороченні холодних вітрів східних, південно-східних та північно-східних напрямів; у весняний період спостерігаються суттєве, майже повне, скорочення часток північного, північно-східного, східного та південно-східного напрямів при домінуванні вітрів південно-західного, західного та північно-західного напрямів; літній період характеризується ростом частки сухих східних та північно-східних вітрів і скороченням західних та північно-західних вітрів; осінній сезон також демонструє зміни у вигляді значного приросту частки східних та південно-східних вітрів і скороченню західного та північного напрямів.

Таблиця 3.4 – Повторюваність вітрів (%) та їх швидкості (м/с) по сезонах у 1980 р.

сезон	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
зима	7,71	11,32	22,95	16,93	8,19	9,03	13,08	10,79
m/s	2,57	3,17	4,37	4,37	4,37	5,23	4,37	3,77
весна	9,21	12,70	32,95	11,79	8,43	4,58	12,05	8,28
m/s	3,17	2,57	4,63	4,37	3,77	3,77	3,77	2,57
літо	11,18	10,81	10,30	8,78	11,49	15,57	22,04	9,84
m/s	2,57	3,17	3,17	2,66	2,57	3,17	3,77	2,57
осінь	8,86	7,40	17,24	13,40	11,58	11,29	14,67	15,55
m/s	2,06	2,57	3,77	3,77	3,17	3,17	3,17	2,57

Таблиця 3.5 – Повторюваність вітрів (%) та їх швидкості (м/с) по сезонах у 2000 р.

сезон	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
зима	6,66	2,57	6,15	12,10	14,20	26,09	19,27	12,96
m/s	3,17	1,54	3,77	4,37	3,77	4,37	3,77	3,77
весна	9,52	12,16	11,10	16,85	11,68	15,71	11,53	11,46
m/s	3,77	3,17	3,77	3,17	3,17	3,77	3,77	3,77
літо	16,11	10,64	11,50	10,57	5,33	8,72	17,14	20,07
m/s	3,17	3,17	2,57	3,77	3,17	3,17	2,656667	3,17
осінь	11,14	13,65	25,36	18,95	8,74	7,35	6,25	8,57
m/s	2,57	2,57	3,77	3,17	2,57	2,57	2,06	3,17

Таблиця 3.6 – Повторюваність вітрів (%) та їх швидкості (м/с) по сезонах у 2020 р.

сезон	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
зима	5,83	6,51	7,16	11,48	18,49	19,14	22,84	8,54
m/s	3,17	3,77	2,66	3,77	3,17	4,37	4,37	4,37
весна	7,02	6,69	9,11	9,24	13,21	21,98	16,83	16,04
m/s	3,77	3,17	3,77	3,77	3,17	4,37	4,37	4,37
літо	15,66	18,03	20,01	9,96	6,42	7,55	8,51	13,86
m/s	3,17	2,57	3,17	3,17	2,57	2,57	2,57	2,66
осінь	2,86	3,26	35,20	26,46	7,90	8,74	8,78	6,82
m/s	2,66	2,06	4,37	5,23	3,17	2,57	2,57	3,77

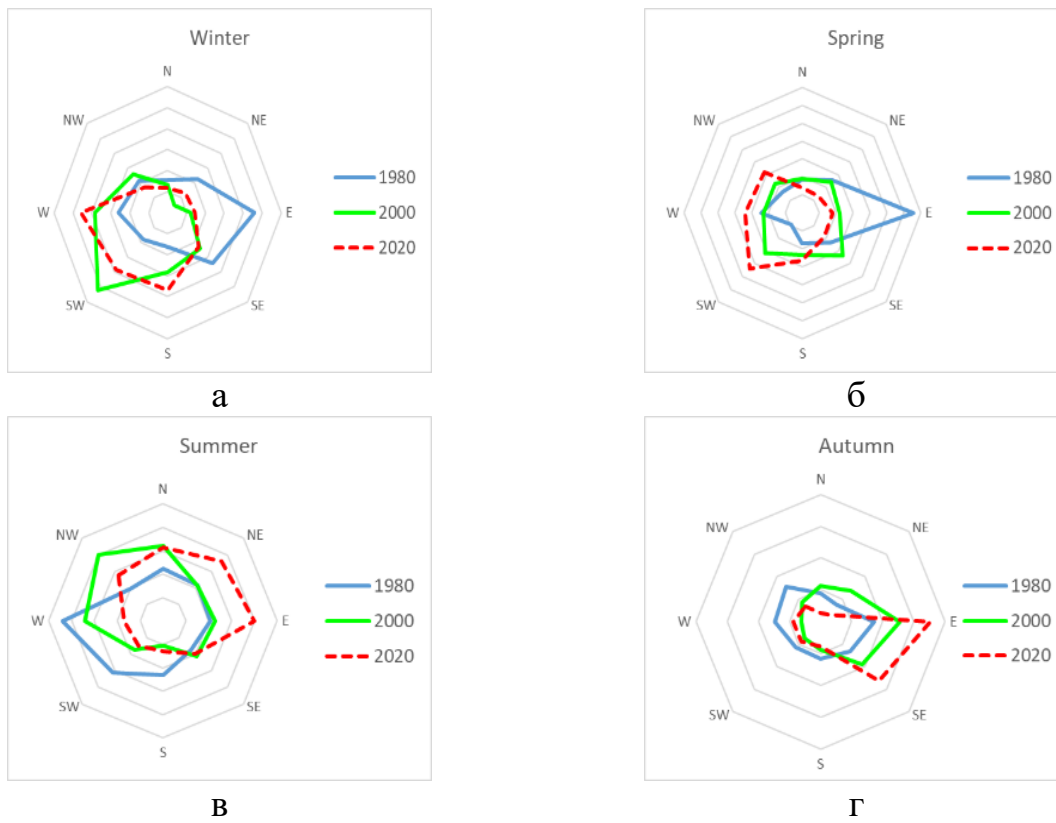


Рис.3.5. Сезонні рози вітрів у м.Севєродонецьк (%):  
а – зима, б – весна, в – літо, г - осінь

Що стосується швидкості вітрів (табл.3.7 та рис.3.6), то середньорічні показники за досліджуваний період коливаються в межах кліматичної норми, але у сезонних змінах наявні такі тенденції: середні швидкості вітрів зимового та весняного періодів західних напрямів зросли, а швидкості вітрів східних напрямів зменшились; літній та осінній сезони характеризується зменшенням швидкості вітрів західних напрямів та збільшенням східних.

Ці спостереження демонструють зміну клімату Севєродонецько-Лисичанської агломерації впродовж останніх 40 років. Зміна клімату полягає у зміщенні сезонів, потеплішні зими, спекотнішому літі зі зменшенням кількості опадів, що викликає засуху та пилові бурі.

Таблиця 3.7- Середні швидкості вітрів (м/с) по сезонах у порівнювані роки

Сезон	Рік	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Усереднене значення
зима	1980	2,57	3,17	4,37	4,37	4,37	5,23	4,37	3,77	4,03
	2000	3,17	1,54	3,77	4,37	3,77	4,37	3,77	3,77	3,57
	2020	3,17	3,77	2,66	3,77	3,17	4,37	4,37	4,37	3,71
весна	1980	3,17	2,57	4,63	4,37	3,77	3,77	3,77	2,57	3,58
	2000	3,77	3,17	3,77	3,17	3,17	3,77	3,77	3,77	3,55
	2020	3,77	3,17	3,77	3,77	3,17	4,37	4,37	4,37	3,85
літо	1980	2,57	3,17	3,17	2,66	2,57	3,17	3,77	2,57	2,96
	2000	3,17	3,17	2,57	3,77	3,17	3,17	2,66	3,17	3,11
	2020	3,17	2,57	3,17	3,17	2,57	2,57	2,57	2,66	2,81
осінь	1980	2,06	2,57	3,77	3,77	3,17	3,17	3,17	2,57	3,03



	2000	2,57	2,57	3,77	3,17	2,57	2,57	2,06	3,17	2,81
	2020	2,66	2,06	4,37	5,23	3,17	2,57	2,57	3,77	3,30

Найгіршими умовами для розсіювання домішок є застої повітря, які формуються під час приземних інверсій і слабого вітру (повторюваність їх найбільша влітку).

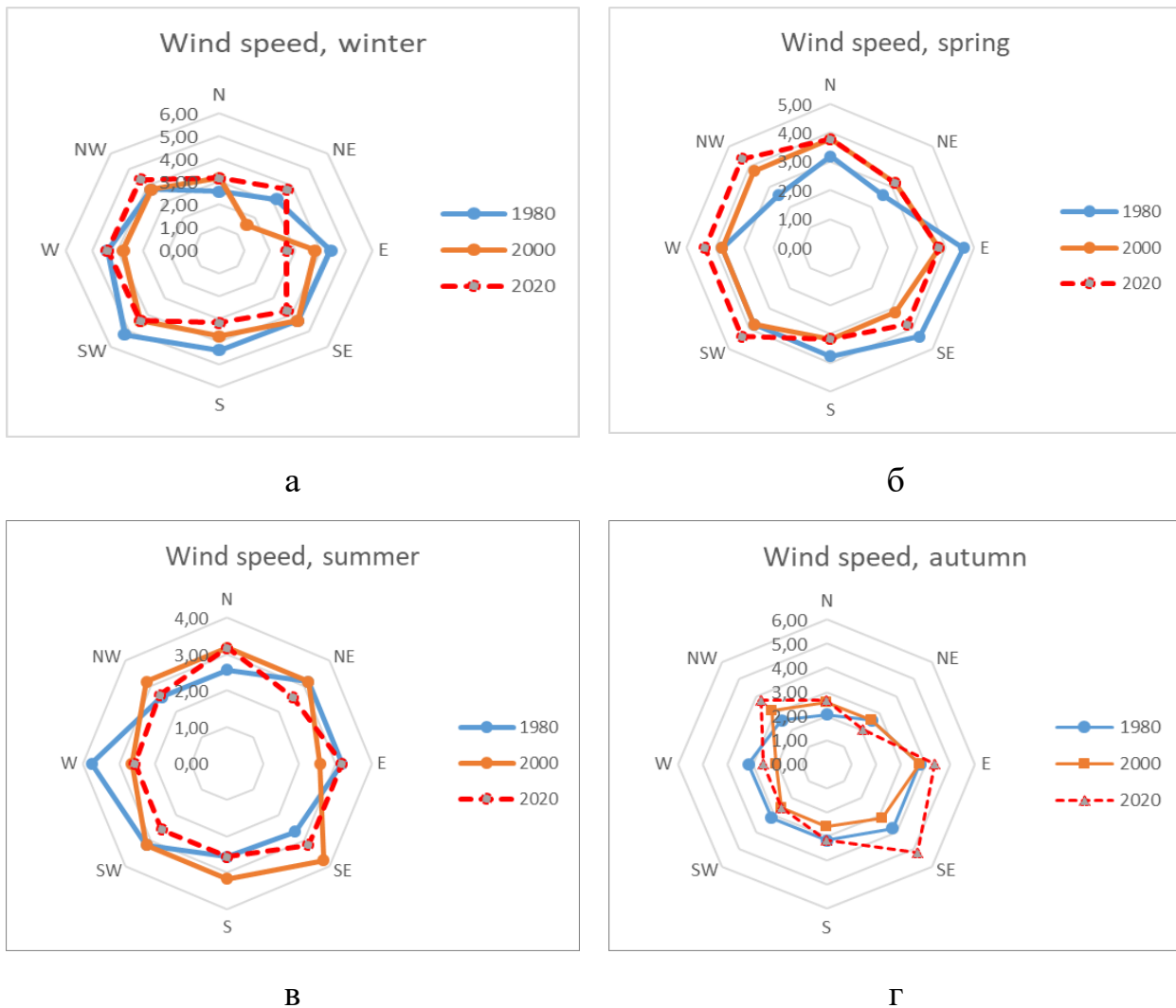


Рис.3.6. Сезонні швидкості вітрів у м.Севродонецьк (м/с):  
а – зима, б – весна, в – літо, г – осінь

Зміна клімату підвищує ризики для здоров'я населення через розбалансованість стану екосистем та природних ресурсів, викиди парникових газів в атмосферу. Зміна клімату є результатом взаємодії цілої низки природних чинників та діяльності людини [20]. З 2016 року 91% світового населення проживало в районах, де рівень забруднення перевищував значення, встановлені в Рекомендаціях ВООЗ за якістю повітря. За оцінками, в 2012 році через забруднення атмосферного повітря в міських околицях і сільських районах у всьому світі відбулося 4,2 мільйона випадків передчасної смерті людей [21].

Представлені в цьому розділі дослідження зміни клімату (рози вітрів) на території Северодонецько-Лисичанської агломерації обговорювались на Всеукраїнській

науково-практичній конференції з міжнародною участю «Майбутній науковець – 2020» [22].

Моделювання розсіювання викидів атмосферних забруднювачів від Сєвєродонецької ТЕЦ проводилось на основі розрахованих сезонних (2020 р.) розвітру.

## 4 ТОКСИКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН, ЩО МІСТЯТЬСЯ У ВИКИДАХ

Діоксид азоту (NO<sub>2</sub>) – жовто-рудий газ з гострим задушливим запахом. Добре розчиняється у воді, утворюючи при цьому нітратну кислоту, що реагує практично з усіма сполуками. Діоксид азоту є сильним окисником, здатним викликати загоряння органічних сполук. Суміші його з метаном і бутаном вибухають, хоча сам він не вибухонебезпечний. Температура плавлення діоксиду азоту –11,2°С, кипіння - 20,6°С. Клас небезпеки - 3.

ГДК робочої зони для оксиду азоту - 5 мг/м<sup>3</sup>, для діоксиду - 2 мг/м<sup>3</sup>. Середньодобова ГДК в повітрі населених пунктів для оксиду азоту - 0,06 мг/м<sup>3</sup>, для діоксиду - 0,04 мг/м<sup>3</sup>. Разова ГДК оксиду азоту в повітрі населених пунктів - 0,4 мг/м<sup>3</sup>, діоксиду - 0,085 мг/м<sup>3</sup>.

Оксид азоту токсичний. Він подразнює очі, шкіру і слизові оболонки, а при вдиханні викликає серйозне отруєння. Перші його ознаки - головний біль і біль у животі, кашель, сонливість, нудота і запаморочення. При серйозних отруєннях у постраждалих відзначається помутніння свідомості, а також посиніння губ і нігтів, стан, схожий з отруєнням чадним газом. Це відбувається тому, що і чадний газ, і оксиди азоту, з'єднуючись з гемоглобіном крові, сприяють утворенню метгемоглобіну, який на відміну від гемоглобіну не може переносити кисень. Таке отруєння може статися тільки при дуже високій концентрації оксидів азоту або в закритому приміщенні. У важких випадках можуть настати втрата свідомості і судоми. Вдихання оксиду азоту навіть в концентраціях нижче порогових може привести до набряку легенів. Симптоми отруєння діоксидом азоту відрізняються від таких при отруєнні оксидом азоту. Однак слід враховувати, що в деяких випадках люди можуть опинитися під впливом одночасно обох цих речовин. Діоксид азоту також подразнює шкіру і слизові оболонки. Може спостерігатися біль в очах. При його вдиханні починається кашель, дихання у постраждалих утруднено навіть при невеликих концентраціях діоксиду. Для отруєння характерні головний біль, пітливість, слабкість, задишка, нудота і блювота. З'єднуючись в легких з водою, діоксид утворює нітратну кислоту, яка роз'їдає тканини. Це призводить до хронічних захворювань легенів. Крім того, при хронічному впливі в низьких концентраціях діоксид азоту впливає на імунну систему,

знижуючи опірність організму захворюванням, викликаючи у людей генетичні зміни. Поріг чутливості до запаху становить  $10 \text{ мг/м}^3$ , що вище ГДК [23].

Вдихання пари діоксиду азоту може призвести до серйозного отруєння. Діоксид азоту викликає сенсорні, функціональні та патологічні ефекти. До сенсорних ефектів можна віднести нюхові і зорові реакції організму на вплив  $\text{NO}_2$ . Навіть при малих концентраціях, що становлять всього  $0,23 \text{ мг/м}^3$ , людина відчуває присутність цього газу. Ця концентрація є порогом виявлення діоксиду азоту. Однак здатність організму виявляти  $\text{NO}_2$  пропадає після 10 хвилин вдихання, але при цьому відчувається відчуття сухості і першіння в горлі. Хоча і ці ознаки зникають при тривалому впливі газу в концентрації, яка в 15 разів перевищує поріг виявлення. Таким чином,  $\text{NO}_2$  послаблює нюх.

Але діоксид азоту впливає не тільки на нюх, а й послаблює нічний зір - здатність ока пристосовуватися до темряви. Цей же ефект спостерігається при концентрації  $0,14 \text{ мг/м}^3$ , що, відповідно, нижче порога виявлення.

Функціональним ефектом, що викликається діоксидом азоту, є підвищений опір дихальних шляхів. Іншими словами,  $\text{NO}_2$  викликає збільшення зусиль, що витрачаються на дихання. Ця реакція спостерігалася у здорових людей при концентрації  $\text{NO}_2$  всього  $0,056 \text{ мг/м}^3$ , що в чотири рази нижче порога виявлення. А люди з хронічними захворюваннями легенів відчувають затруднення дихання вже при концентрації  $0,038 \text{ мг/м}^3$ .

Патологічні ефекти виявляються в тому, що  $\text{NO}_2$  робить людину більш сприйнятливою до патогенів, що викликають хвороби дихальних шляхів. У людей, які зазнали впливу високих концентрацій діоксиду азоту, частіше спостерігаються катар верхніх дихальних шляхів, бронхіти, круп і запалення легенів. Крім того, діоксид азоту сам по собі може стати причиною захворювань дихальних шляхів. Потрапляючи в організм людини,  $\text{NO}_2$  при контакті з вологою утворює нітритну і нітратну кислоти, які роз'їдають стінки альвеол легенів. При цьому стінки альвеол і кровоносних капілярів стають настільки проникними, що пропускають сироватку крові в порожнину легенів. У цій рідині розчиняється вдихаєме повітря, утворюючи піну, що перешкоджає подальшому газообміну. Виникає набряк легенів, який часто веде до летального результату. Тривала дія оксидів азоту викликає розширення клітин в корінцях бронхів (тонких розгалуженнях повітряних шляхів альвеол), погіршення опірності легень до бактерій, а також розширення альвеол.

Перша допомога: постраждалих необхідно евакуювати із зараженої зони. При можливості - промити очі 2%-ним розчином питної соди. У деяких джерелах рекомендують надягати на постраждалих протигази, проте слід враховувати, що при отруєнні діоксидом азоту можлива блювота. Після евакуації промити очі і шкіру, як зазначено вище. Шкіру також можна промивати мильним розчином. Постраждалим рекомендується забезпечити спокій, і вони повинні перебувати в напівсидячому положенні - в такій позі легше дихати, ніж лежачи. При необхідності проводять штучне дихання. Рекомендується всіх постраждалих доставити в лікувальні установи, оскільки симптоми отруєння оксидами азоту, в тому числі набряк легенів, можуть проявитися не відразу.

Розчини для дегазації (нейтралізації): 10%-ний розчин лугу - 1 т їдконого натру на 9 т води.

Деякі дослідники вважають, що в районах з високим вмістом в атмосфері діоксиду азоту спостерігається підвищена смертність від серцевих і ракових захворювань. У таблиці 4.1 наведено статистичні дані за 2019р. розподілу причин смертності у Луганській області [24].

Таблиця 4.1 - Розподіл випадків смертей за окремими причинами у 2019 році

	Одиниць	У % до підсумку
<b>Від усіх причин смерті</b>	<b>16011</b>	<b>100,0</b>
<i>у т.ч. від</i>		
хвороб системи кровообігу	11081	69,2
новоутворень	1881	11,7
зовнішніх причин смерті	590	3,7
<i>із них від</i>		
транспортних нещасних випадків	30	0,2
випадкових утоплень та занурень у воду	24	0,1
випадкових отруень та дії алкоголю	44	0,3
навмисних самоушкоджень	119	0,7
наслідків нападу з метою вбивства чи нанесення ушкодження	22	0,1
хвороб органів травлення	701	4,4
хвороб органів дихання	354	2,2

Оксиди азоту є складовими фотохімічного смогу, руйнівний вплив якого на рослини було виявлено раніше, ніж підтверджено вплив на здоров'я людей.

Оксиди азоту NO<sub>x</sub> можуть впливати на рослини трьома шляхами:

- прямим контактом з рослинами;
- через що утворюються в повітрі кислотні опади;

- побічно - шляхом фотохімічного утворення таких окисників, як озон і ПАН.

Прямий вплив  $\text{NO}_x$  на рослини визначається візуально по пожовтінню або побурінню листя і голок, що відбувається в результаті окиснення хлорофілу. Окиснення жирних кислот в рослинах, що відбувається одночасно з окисненням хлорофілу, крім того, призводить до руйнування мембран і некрозу. Утворювана при цьому в клітинах нітритна кислота надає мутагенну дію. Негативний біологічний вплив  $\text{NO}_x$  на рослини проявляється у знебарвленні листя, зів'яненні квіток, припиненні плодоношення і зростання. Така дія пояснюється утворенням кислот при розчиненні оксидів азоту в міжклітинній і внутрішньоклітинній рідинах.

Ботаніки вважають, що початкові симптоми пошкодження рослин оксидами азоту проявляються в безладному поширенні знебарвлюючих плям сіро-зеленого відтінку. Ці плями поступово грубіють, висихають і стають білими. Оксиди азоту токсичні при концентрації  $3 \text{ млн}^{-1}$ . Для порівняння: сірчистий газ викликає ураження рослин при більшій концентрації ( $5 \text{ млн}^{-1}$ ).

Порушення росту рослин при впливі  $\text{NO}_2$  спостерігаються при концентраціях  $0,35 \text{ мг/м}^3$  і вище. Це значення є граничною концентрацією. Небезпека пошкодження рослинності діоксидом азоту існує тільки у великих містах і промислових районах, де середня концентрація  $\text{NO}_2$  становить  $0,2 - 0,3 \text{ мг/м}^3$ .

Рослини більш стійкі (в порівнянні з людиною) до впливу чистого діоксиду азоту. Це пояснюється особливостями засвоєння  $\text{NO}_2$ , який відновлюється в хлоропластах і як  $\text{NH}_2$ -групи входить до амінокислот. При концентрації  $0,17 - 0,18 \text{ мг/м}^3$  оксиди азоту використовуються рослинами в якості добрив. Ця здатність до метаболізування  $\text{NO}_x$  людині не властива.

Руйнівна дія  $\text{NO}_2$  на рослини посилюється в присутності діоксиду сірки. Це підтверджено на дослідях, проведених з наступними породами дерев: тополя чорна, береза плакуча, вільха біла, липа дрібнолиста. Ці гази володіють синергізмом, і в атмосфері часто присутні разом. У той час як дія одного діоксиду азоту багато рослин переносять в концентрації до  $0,35 \text{ мг/м}^3$ , в присутності діоксиду сірки така ж кількість  $\text{NO}_2$  може завдати їм шкоди.

Таким чином, ознаки ушкоджень, викликаних  $\text{NO}_2$ , візуально діагностуються. Однак слід враховувати, що в природних умовах, ці гази діють на рослини не окремо, а комплексно в складній суміші з іншими забруднювачами, тому ідентифікацію впливу провести важко [19].

Сірчистий газ SO<sub>2</sub> надає багатосторонню загальнотоксичну дію. Порушує вуглеводний і білковий обмін, пригнічує ферменти. Володіє дратівливою дією. Порушує функцію печінки, шлунково-кишкового тракту, серцево-судинної системи, нирок.

Гостре отруєння. У легких випадках (концентрація ~ 0,001% об.) - подразнення верхніх дихальних шляхів і очей. Сльозотеча, чхання, першіння в горлі, кашель, осиплість голосу. При поразці середньої тяжкості: загальна слабкість, сухий кашель, біль у носі і горлі, нудота, болі в надчеревній ділянці, носові кровотечі. У важких випадках - гостра задуха, болісний кашель, набряк легенів, смерть.

Хронічне отруєння. Порушення дихальної, серцево-судинної систем і шлунково-кишкового тракту. Одна з форм ураження - бронхіти: кашель, болі в грудях, задишка, слабкість, стомлюваність, пітливість. Ураження печінки - токсичний гепатит - тяжкість і біль в правій підреберній ділянці, нудота, гіркота в роті. Поразка шлунка - біль натщесерце або після їди, печія, нудота, зниження апетиту, виразка шлунка і дванадцятипалої кишки. 2-й клас небезпеки.

Кислота сульфатна. При вдиханні : їдке. Відчуття печіння. Болі в горлі. Кашель. Утруднене дихання. Задишка. Симптоми можуть бути відстроченими. Симптоми набряку легенів часто виявляються через декілька годин і загострюються при фізичному навантаженні. Тому потрібний відпочинок і медичне спостереження. Потрапляння на шкіру: їдке. Почервоніння. Біль. Пухирі. Хімічні опіки. Потрапляння в очі: їдке. Почервоніння. Біль. Хімічні опіки. При заковтуванні: їдке. Хімічні опіки губ, слизової оболонки роту. Рясна блювота з домішками крові. Судоми. Шок або колапс.

Перша медична допомога. Загальні заходи: покій, тепло, зручне положення тіла, доступ свіжого повітря, умови для неутрудненого дихання. При заковтуванні: ретельно промити ротову порожнину. Внутрішньо – (250-300) мл води. Якщо мимоволі виникло блювання, повторити прийом тієї же дози води. Не викликати блювання штучно. Терміново звернутися за допомогою лікаря. При потраплянні в очі: обережно промивати чистою питною водою протягом (20-30) хвилин до усунення симптомів подразнення. Термінове звернутися за допомогою лікаря. Забезпечити захист навколишніх тканин від потрапляння на них забрудненої промивної води. При потраплянні на шкіру: зняти та видалити забруднений одяг, взуття, спорядження. По можливості видалити залишки продукту. Змивати рясним струменем чистої питної води протягом (20-30) хвилин. Термінове звернутися за допомогою лікаря. При

вдиханні: вивести на свіже повітря, надати напівсидяче положення та спокій. Штучне дихання за медичними показниками. Звернутися за медичною допомогою. Поради лікарю: промивати уражене місце теплою проточною водою, нейтральним ізотонічним сольовим розчином або 2% розчином бікарбонату натрію, призначити ін'єкції папаверину, платифіліну, атропіну, димедролу, глюкози з новокаїном, поліглюкіну, преднізолон. Інгаляції зволоженого кисню або карбогену. Олійні інгаляції з новокаїном, ефедрином, димедролом. Враховувати можливість розвитку набряку легенів протягом 48 годин.

Правила особистої безпеки: розлитий продукт нейтралізувати вапном або содою та швидко прибрати. Уникати прямого контакту із продуктом і вдихання його аерозолі. Забезпечити належну припливно-витяжну вентиляцію. Використовувати засоби індивідуального захисту. Рекомендації при витоках: розливи огородити ґрунтовим валом, засипати інертним матеріалом, содою, вапном. Не застосовувати тирсу та вогнебезпечні матеріали. Зібрати його з шаром ґрунту в кислотостійкі підсані контейнери з кришкою. Прибрати, якщо можливо, із зони аварії металеві вироби або захистити від попадання на них речовини. Забруднену поверхню промити великою кількістю води 6.3 Рекомендації із захисту навколишнього середовища: Не допускати попадання речовини у водоймища, каналізацію. При необхідності зливу у каналізацію – нейтралізувати стоки лужними речовинами.

Контроль впливу на навколишнє середовище. Вода водних об'єктів господарчо-питного та культурно-побутового призначення (ВОГПКП) - в Україні норматив не встановлений. В СРСР - ГДК=500 мг/л (по $\text{SO}_4^{2-}$ ). Потрібен контроль водневого показника у воді водоймищ (рН=6,5-8,5). Вода рибогосподарчих водоймищ (РГВ): в Україні норматив не встановлений В СРСР - нормування по сульфат-аніону ГДК=100 мг/л, для морських водоймищ - 3500 мг/л (при 2-18%). Ґрунт ГДК=160 мг/кг.

Токсикологічна інформація. Оцінка ступеню небезпеки (токсичності): продукт небезпечний при вдиханні аерозолі, заковтуванні, потраплянні на шкіру та слизові. Смертельна ентеральна доза для людини 135 мг/кг. Клінічна картина гострого отруєння: першіння в горлі, утруднене дихання, кашель, спазм голосової щілини, дихання, що клекоче, болісна блювота з кров'ю, набряк гортані. Опіки губ, підборіддя, слизистої порожнини рота, стравоходу, шлунку. Різкий біль за грудниною і в животі. Показники гострої токсичності  $DL_{50}=2140$  мг/г (щур, внутрішньошлунково).  $CL_{50}=320$  мг/м<sup>3</sup> (миша, 2 години).  $CL_{50}=510$  мг/м<sup>3</sup> (щур 2 години). Кумулятивна дія: слабка.



Органи та системи, що найбільш вражаються: центральна нервова система, дихальна система, печінка, нирки, селезінка, кров, зуби. Сенсibilізаційна дія: так (контакт, що повторюється, з сульфатною кислотою спричиняє сенсibilізацію організму, що призводить до астматичних явищ). Ембріотоксична дія: не встановлено (миша, кроль). Тератогенна дія: так (кролі, аномалії опорно-рухового апарату). Мутагенна дія: так (виробнича дія аерозолів і пари сильних неорганічних кислот спричиняє збільшення частоти обміну сестринських хроматид, утворення мікроядер і хромосомної аберації в лімфоцитах крові робочих. У культурах клітин ссавців - клітинну трансформацію, генні мутації і хромосомну аберацію (матеріали МАІР). Канцерогенна дія: людина: так (виробнича дія аерозолів і пари сильних неорганічних кислот спричиняє у людей рак носових синусів, гортані, легенів, дані достатні), тварини: не вивчались. Оцінка МАІР: група I (для туману сильних неорганічних кислот, що містять сірчану кислоту (професійна експозиція)).

Екотоксикологічність. Гостра токсичність для *Daphnia magna*:  $CL_{50}=10-20$  мг/л (48 годин),  $LC_{50}=38$  мг/л (24 години),  $EC_{50}=50$  мг/л (1-3 години). Гостра токсичність для риб:  $CL_{50}=82$  мг/л (*Brachidanio rerio*, 24 години),  $CL_{50}=24,5$  мг/л (*Lepomis macrochirus*, 24 години),  $EC_{50}=6,25$  мг/л (*Salmo*, 24 години),  $EC_{50}=7,38$  мг/л (*Centrarchidae*, 60 годин),  $CL_{min}=17$  мг/л (*Carassius auratus*, при  $pH=4,5$  96 годин). Токсична дія на ґрунтових безхребетних: Інформація не виявлена. Виявленні ефекти на модельні екосистеми:  $EC_{50}=58$  мг/л, (бактерія, вид не вказаний, 120 годин; інгібування дихання),  $EC=200$  мг/л (*Paramecium caudatum*). Продукт розчиняється у воді. Переходить у землю разом з водою, при цьому може бути частково нейтралізований. Сульфатна кислота не випаровується з ґрунту. Трансформується в навколишнє природне середовище. Продукти трансформації: оксиди сірки. Стабільність у абіотичних умовах: >30діб (надзвичайно стабільний продукт).

Хром (VI). Довготривалий вплив сполук Cr(VI), а саме хромової кислоти  $H_2CrO_4$  і її солей, що присутні в повітрі промислових приміщень, спричиняє хронічне отруєння у вигляді перфорації слизової оболонки носу і ротової порожнини, а також запалення легенів. Хронічне отруєння Cr(VI) стосується насамперед працівників, які мають контакт з його сполуками. Смертельна доза, що потрапила до організму через рот, у випадку  $H_2CrO_4$  складає 1-2 г, а у випадку хроматів – 3-6 г.

У токсикології Cr(VI) такими, що викликають найбільше занепокоєння, є його канцерогенні і мутагенні властивості. Сполуки Cr(VI) належать до групи найсильніших

канцерогенних речовин з-поміж неорганічних сполук. За даними Міжнародного агентства досліджень раку, хром (VI) належить до групи I, тобто до групи речовин із доведеним епідеміологічним канцерогенним впливом. Найважливішою причиною мутагенної активності сполук Cr (VI) є окислювальні здатності. Тетраедричний іон  $\text{CrO}_4^{2-}$ , або псевдооктаедричний  $\text{CrO}_3(\text{OH})$ , що є домінуючими формами прояву хрому при фізіологічному pH, використовуючи свою структурну подібність до сульфатів (VI)  $\text{SO}_4^{2-}$  і фосфатів (V)  $\text{PO}_4^{3-}$  легко переходять через аніонові канали клітинної оболонки. У цитоплазмі вони зазнають відновлення, а продукти того метаболізму (Cr(V), Cr(III), Cr(IV)) взаємодіють з ДНК. Розрив решітки ДНК, утворення нових перехресних (місткових) зв'язків між нитями ДНК спричиняє небезпеку генотоксичності.

Ванадію п'ятиоксид. Шкідлива при ковтанні або при вдиханні. При попаданні в очі викликає незворотні наслідки. Може викликати подразнення верхніх дихальних шляхів. Передбачається, що дана речовина викликає генетичні дефекти. Передбачається, що дана речовина може негативно вплинути на ненароджену дитину. Вражає органи в результаті багаторазового або тривалої дії. Токсична для водних організмів з довгостроковими наслідками.

Марганець. Надлишок марганцю має чітко виражену токсичність. За інтоксикації марганцем негативні зміни спостерігаються у нервовій, імунній, гормональній системах; є порушення метаболізму вуглеводів, жирів та гомеостазу. За дії високих доз марганцю спостерігається гепатотоксичність та розвивається оксидативний стрес.

Нікелю оксид. Шкодить при ковтанні. Може викликати шкірну алергічну реакцію. При вдиханні може викликати алергічні реакції або астматичні симптоми або респіраторні проблеми. Може викликати ракові захворювання (при вдиханні). Викликає ушкодження органів при тривалому або неодноразовому впливі (при вдиханні). Може надавати довгострокового шкідливого впливу на водну флору і фауну.

Заліза оксид. При попаданні в очі викликає незворотні наслідки. При попаданні на шкіру викликає роздратування. При контакті зі шкірою може викликати алергічну реакцію. Може негативно вплинути на здатність до дітородіння або на ненароджену дитину. Може викликати ракові захворювання. Передбачається, що дана речовина викликає генетичні дефекти. Може вражати органи в результаті багаторазової або тривалої дії: дихальна система. Надзвичайно токсична для водних організмів. Токсична для водних організмів з довгостроковими наслідками.

Сажа служить причиною розвитку різних захворювань: шкіри і слизових оболонок (гнійничкові захворювання шкіри, дерматити, кон'юнктивіти і ін.); органів дихання (риніти, фарингіти, пилові бронхіти, пневмонії); алергічні дерматити, екземи, астматичні бронхіти, бронхіальна астма; професійні отруєння (від впливу токсичною пилю); онкологічні захворювання (від впливу канцерогенного пилю, наприклад, сажі, азбесту); пневмоконізи (від впливу фіброгенного пилю).

Елементарна ртуть і метилртуть токсичні для центральної і периферичної нервової системи. Вдихання парів ртуті може мати шкідливий вплив на нервову, травну та імунну системи, легені та нирки і може призводити до смерті. Неорганічні солі ртуті надають корозійний вплив на шкіру, очі і шлунково-кишковий тракт і можуть призводити до інтоксикації нирок при ковтанні. Неврологічні та поведінкові розлади можуть спостерігатися після вдихання, проковтування або шкірного контакту з різними сполуками ртуті. Симптоми включають тремор, безсоння, втрату пам'яті, нервово-м'язові розлади, головні болі, а також когнітивну і моторну дисфункцію.

Випари фториду водню сильно подразнюють слизові оболонки та дихальні шляхи. Хронічні отруєння зумовлені токсичністю фторид-іона, який є протоплазменною отрутою (блокує роботу ферментів — холінестерази, аденозинтрифосфатази та ін.). Потрапляння на шкіру як безводного, так і водного фториду водню викликає дерматит. Результатом отруєнь фтористим воднем можуть бути: бронхіти; пневмосклероз; бронхоектази; дистрофічні зміни міокарда; ураження печінки. При дуже високих концентраціях - спазм гортані і бронхів та смерть в результаті ураження легенів. Хронічне отруєння може викликатися навіть невеликими концентраціями. Основними заходами першої медичної допомоги при отруєнні фтористим воднем є: рясне промивання водою очей і обличчя; при утрудненні дихання – тепло на область шиї, негайна евакуація у лікарняні установи.

## 5 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ ТА ОБ'ЄКТУ ВПЛИВУ

### 5.1 Характеристика Сєвєродонецької ТЕЦ

Державне підприємство «Сєвєродонецька теплоелектроцентраль» [25, рис. 5.1] - підприємство енергетики в місті Сєвєродонецьк Луганської області, одна з найбільших в Україні теплоелектроцентралей. Призначена для тепло- і електропостачання міста Сєвєродонецька та гіганта хімічної промисловості України — ПрАТ «Сєвєродонецьке об'єднання «Азот». Димова труба висотою 240 м — одна з найвищих в Україні.

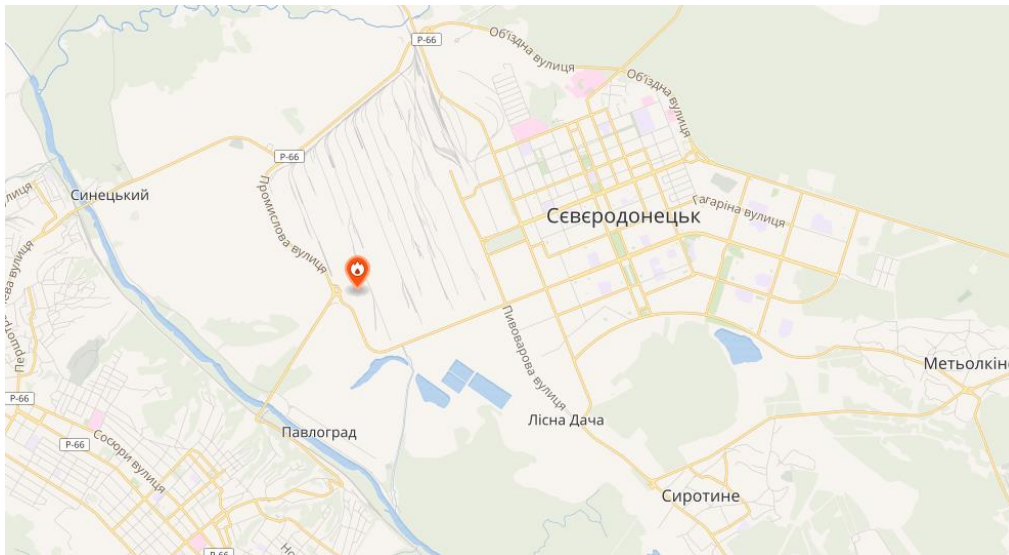


Рис.5.1. - Сєвєродонецька ТЕЦ на мапі місцевості

Будівництво ТЕЦ розпочалося у 1949 році. 25 березня 1952 року були введені в експлуатацію перші котли та турбогенератори. Потужність ТЕЦ становить:

- електрична — 260 МВт,
- теплова — 906 Гкал/год.

ТЕЦ призначена для виробництва електроенергії, що видається в енергосистему, забезпечення паром хімічного заводу та забезпечення опаленням і гарячою водою міста Сєвєродонецьк.

В таблиці 5.1 наведена інформація щодо кількісних характеристик викидів зі стаціонарного джерела, розташованого на території ПрАТ «Азот», що працює в опалювальний сезон [26].

Таблиця 5.1 – Характеристики викидів з димової труби Сєвєродонецької ТЕЦ

Код речовини	Речовина	ГДК <sub>сд</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	ГДВ, г/с	Фактичний викид, г/с	Фактичний валовий викид, т/рік
110	Ванадію п'ятиоксид	0,002	1	0,001	0,001	0,007949
123	Заліза оксид	0,04	3	0,0247	0,0226	0,17964
143	Марганець	0,001	2	0,0019	2,0016	15,91
164	Нікелю оксид	0,001	2	0,0002	0,0002	0,00159
183	Ртуть металічна	0,0003	1	0,000112	0,00011	0,000874

203	Хром (VI)	0,0015	1	0,00018	0,00018	0,0014308
301	Азоту діоксид	0,04	3	21,2076	16,69802	132,73
322	Кислота сірчана	0,1	2	0,0074	2,00587	15,944
328	Сажа	0,05	3	0,0166	0,0139	0,11049
330	Ангідрид сірчаний	0,05	3	160,4372	157,8232	1254,5
342	Водень фтористий	0,005	2	0,0025	0,0019	0,0151
410	Метан	0,15	3	1,1144	1,0144	8,0633
616	Ксилол	0,2	3	0,0365	0,0365	0,29013
13000	Вуглецю діоксид	3	4	13,3087	9,50821	75,579

У таблиці 5.2 наведена технічна характеристика досліджуваного стаціонарного джерела, яке буде використано для моделювання поширення забруднюючих речовин, що містяться у викидах, на прилеглу територію.

Таблиця 5.2 – Параметри джерела викидів (димова труба ТЕЦ)

Висота, м (H)	Діаметр, м (D)	Об'ємна витрата, м <sup>3</sup> /год (V <sub>1</sub> )	Температура газів, °С (T)
240	6,5	600000	110

## 5.2 Фізико-географічна і кліматична характеристика об'єкту

*Фактичне розташування.* Разом з містами Лисичанськ, Рубіжне, Кремінна місто Северодонецьк утворює агломерацію з населенням близько 400 тис. осіб - Лисичансько-Северодонецьку агломерацію. А разом з підприємствами Лисичанська та Рубіжного створює Лисичанско-Северодонецький промисловий вузол.

*Географічне положення.* Северодонецьк (рис.5.2) розташований в східній частині України на заході Луганської області на лівому березі річки Сіверський Донець, на піщаних дюнах і річкових ґрунтах. Місцевість в межах міста і біля нього - рівнинна з невеликими підняттями (50-80 м над рівнем моря). Навколо Северодонецька ростуть заплавні ліси на алювіальних ґрунтах, порізаних численними старицями Сіверського Дінця (озера Клешня, Свінарне (Кривеньке), Зімовне, Піщане, Туба, Боброве та ін.). Навесні на Сіверському Дінці спостерігається паводок з підняттям рівня води від 2 до 8 м з підтопленням приміських територій. Місто розташоване у степовій зоні. Северодонецьк - обласний центру Луганської області.



Рис.5.2. Місто Северодонецьк

Територія міста становить 4210 га (42,1 км<sup>2</sup>), в тому числі 2030 га під житловою забудовою та 2060 га під промисловими об'єктами. В адміністративних межах міста проходить залізнична магістраль Сватове-Попасна, а також авто-траса Р-66.

Північно-західна частина міста омивається річкою Борова, а південно-західна Сіверським Дінцем. Природні листяні ліси зростають переважно в балках і ярах, у заплавах рік і на схилах річкових долин. Основні породи дерев: дуб, ясен, груша, клен, акація, тополя, в'яз; чагарників: терен, глід, шипшина, верес. На піщаних терасах зростають соснові, іноді сосново-дубові ліси, значна частина яких висаджена людиною.

*Клімат.* Помірно континентальний з відносно нетривалою холодною зимою і дуже жарким літом. Середня температура влітку: + 24 ... + 30°C. Сама спекотна погода - в середині липня. Червень - найвітряніший місяць. Повітря прогрівається до + 36 ... + 40°C. Восени погода прохолодна і волога. Можливі ранні заморозки. Зима, як правило, починається в грудні. Середня температура зими: -2 ... -4 ° С. Найхолодніший місяць - січень. Весна прохолодна та волога, грозові дощі йдуть в травні.

- Середньорічна температура - +8,8°C.
- Середньорічна швидкість вітру - 2,4 м/с.
- Середньорічна вологість повітря - 74%.

*Рельєф.* Місто знаходиться на рівнинній території в центрі долини Сіверського Дінця в 3 км на схід від нього - на південній межі лісостепової зони, в районі ковилового степу і соснових лісів. Висота над рівнем моря від 50 до 80 м в межах міста. Центральна частина Северодонецька піднята над іншою частиною в середньому на 5 м. На півночі від міста протікає річка Борова, в межах міста вона підпругена малим водосховищем.

Гідрогеологічні умови району є складними й різноманітними. Розмаїтість гідрогеологічних умов обумовлюється впливом геологічних, фізико-географічних і штучних факторів, обумовлених практичною діяльністю людини.

Відповідно до районування території України і метеорологічних умов м.Сєверодонецьк належить до 3-ї зони підвищеного потенціалу забруднення, що характеризується повторюваністю слабких вітрів і туманів до 20%, приземних інверсій до 40%. Пануючими вітрами є вітри східного, південно-східного і західних напрямлень. Середні швидкості вітру 2,7-5,3 м/с, часті штилі, сезонні рози вітрів представлені у розділі 3 (рис.3.5).

*Екологічний стан.* Екологічна ситуація в різних районах міста неоднорідна і залежить від двох основних чинників: викидів від стаціонарних джерел забруднення та автотранспорту. Основною проблемою, пов'язаною із забрудненням атмосферного повітря промисловими підприємствами, є близьке знаходження житлової зони по відношенню до основного промислового району.

Західна, південна і центральна частини міста, де розташовані основні підприємства міста і спостерігається висока концентрація автотранспорту, характеризуються підвищеним рівнем забруднення атмосфери.

На території міста склалася незадовільна обстановка за якістю води в річці Сіверський Донець. Якість вод річки змінюється від «помірно-забруднених» (3 клас, у верхній течії) до «брудних» (5 клас, нижче скиду очисних споруд м. Сєверодонецьк), «забруднених» (4 клас), і «брудних» (5 клас) в нижній ділянці. Незадовільна якість води в річках міста пов'язана зі скиданням промислових і комунальних стічних вод, недостатньою ефективністю існуючих міських очисних споруд, невиконанням обмежень на господарську діяльність у межах водоохоронних зон. Гостро стоїть проблема забруднення навколишнього середовища міста відходами виробництва і споживання.

### *5.2.1 Фонове забруднення в м.Сєверодонецьк*

Нижче наведені офіційні дані вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м.Сєверодонецьк, опубліковані в Екологічному паспорті Луганської області за 2019р. [27], що вимірювались Луганським обласним центром з гідрометеорології (табл.5.3).

Таблиця 5.3 - Вміст полутантів в атмосферному повітрі м.Сєверодонецьк

Код речовини	Забруднююча речовина	Середньорічний вміст, мг/м <sup>3</sup>	Середньодобова ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Максимальна разова ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Максимальний вміст, мг/м <sup>3</sup>	Частка С <sub>i</sub> від ГДК <sub>мр</sub>
203	Хром (VI)	0,00007	0,0015	0,0015	0,00084	0,047
301	Діоксид азоту	0,03	0,04	0,2	0,05	0,15
303	Аміак	0,02	0,04	0,2	0,04	0,1
316	Хлористий водень	0,04	0,2	0,2	0,12	0,2
322	Сірчана кислота	0,0068	0,1	0,3	0,024	0,023
328	Пил	0,1	0,15	0,5	0,2	0,2
330	Діоксид сірки	0,019	0,05	0,5	0,041	0,038
337	Оксид вуглецю	1	3	5	2	0,2
1325	Формальдегід	0,008	0,003	0,035	0,016	0,229



## 6 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСПІВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА ПРИЛЕГЛІЙ ТЕРИТОРІЇ

### 6.1 Побудова полів розповсюдження забруднюючих речовин

Загальний звіт про результати розрахунку розсіювання та полями ізоконцентрацій поллютантів (у частках ГДК<sub>мр</sub>) з оцінкою ризиків планованої діяльності Северодонецької ТЕЦ на здоров'я населення м.Северодонецьк по критерію атмосферного повітря наведені в додатку А.

За розрахунковий майданчик взятий прямокутник зі сторонами 10000 м, з кроком по сітці 500 м. Роза вітрів використана для зимового періоду, що розрахована в розділі 3.

Розрахунок розсіювання проводився для 14 речовин різного ступеня небезпеки (токсичності), що є складовими викидів з димової труби Северодонецької ТЕЦ в атмосферне повітря. Серед фонового забруднення виокремлено 9 речовин, які утворюють з досліджуваними поллютантами 6 груп сумації, а саме:

Таблиця 6.1 – Групи сумації

Речовини, що входять до групи сумації	Номер групи сумації
Ванадій та його сполуки – Марганець та його сполуки	10
Ванадій та його сполуки – Ангідрид сірчистий	11
Ванадій та його сполуки – Хром шестивалентний	12
Кислота сірчана – Ангідрид сірчистий	28
Азоту діоксид – Ангідрид сірчистий	31
Ангідрид сірчистий – Фтористі сполуки газоподібні	35

ТЕЦ відноситься до об'єктів 3 класу небезпеки з розміром нормативної санітарно-захисної зони 300 м [28, 29].

Слід зауважити, що критерієм доцільності розрахунку для кожної окремої речовини або групи сумації може служити константа доцільності розрахунку або параметр  $\Phi$ .

У першому випадку, розрахунок не проводиться, в разі якщо сума максимальних приземних концентрацій від джерела викиду для інгредієнта, поділена на ГДК, менше, ніж константа доцільності розрахунку.

У другому випадку, розрахунок не проводиться, якщо сумарна потужність викиду від джерела викиду для інгредієнта, поділена на ГДК, не перевищує параметра  $\Phi$ .

Параметр Ф обчислюється за формулами 5.38, 5.39 та 5.21. ОНД-86. Це означає, що не для всіх речовин проводиться моделювання розсіювання.

Сукупне поля забруднення з рівнем 1 ГДК щодо межі джерел викиду підприємства з урахуванням середньорічної повторюваності вітрів по румбам, яке утворюється об'єднанням полів забруднення забруднюючих речовин і груп сумачії, що входять до складу викиду підприємства з урахуванням фону, є зовнішньою обвідною лінією скорегованої СЗЗ.

Серед змодельованих розповсюджень забруднень жоден з полютантів або груп сумачії не перевищують нормативних величин (ГДК<sub>мр</sub>), це означає, що СЗЗ Сєверодонецької ТЕЦ не потребує корегування, навіть з урахуванням рози вітрів. Хоча необхідно пам'ятати, що димова труба ТЕЦ розташована на території промислового майданчику ПрАТ «Сєверодонецьке Об'єднання Азот», в межах якого є багато стаціонарних джерел викидів більш високого класу небезпеки з санітарно-захисною зоною значно більших розмірів, яка перекриває (поглинає) СЗЗ ТЕЦ.

З перелічених в табл.5.1 лише концентрація сажі (що прирівняна нами до завислих частинок з аеродинамічним діаметром 10 мкм – РМ<sub>10</sub>) з урахуванням фонових забруднень становить 0,67 ГДК<sub>мр</sub> у всьому діапазоні розрахованого прямокутника.

## **6.2 Оцінка ризиків запланованої діяльності ТЕЦ на здоров'я населення м.Сєверодонецьк**

За інгаляційного надходження токсичних речовин в організм людини оцінка ризику здоров'ю здійснюється на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки (ризик розвитку неканцерогенних ефектів)  $HQ = \frac{C_i}{RfC_i}$ , де  $C_i$  – рівень впливу  $i$ -тої речовини (середньорічна концентрація), мг/м<sup>3</sup>;  $RfC_i$  – безпечний рівень впливу даної речовини, мг/м<sup>3</sup>.

За допомогою утиліти «Показник ризику» програма ЕОЛ-2000 вираховує середньорічну концентрацію забруднюючої речовини (з урахуванням незмінного фону) та обчислює коефіцієнт небезпеки як для окремих речовин, так і для груп сумачії та груп комбінованої дії (вплив різних речовин на один і той же орган-мішень).

Величина коефіцієнта небезпеки оцінюється по наступним критеріям:

1. Надзвичайно високий – понад 10.

2. Високий – 5-10.
3. Середній – 1-5.
4. Низький - 0,1-1,0.
5. Мінімальний – менше 0,1.

Отримані результати свідчать, що з окремих речовин лише завислі частинки  $PM_{10}$ , які викидає ТЕЦ, створюють *вірогідність розвитку шкідливих ефектів* з коефіцієнтом небезпеки  $HQ=2,01$  (тобто середній ризик 1-5). В цей же діапазон потрапили групи впливу на *органи дихання* (сумарна дія  $PM_{10}$ , пилу, діоксиду азоту,  $Cr(VI)$ , ванадію та його сполук, сірки діоксиду та аміаку) з індексом небезпеки  $HI=3,72$  (де найбільший внесок припадає на  $PM_{10}$  з  $HQ=2,01$ , на  $NO_2$  з  $HQ=0,75$  та на  $Cr(VI)$  з  $HQ=0,705$ ), та група сумачії №31 ( $NO_2+SO_2$ ) з індексом небезпеки  $HI=1,002$ , що не є добре та потребує аналізу ситуації та зниженням ризику.

При оцінці **канцерогенного ризику** розраховується одиничний ризик (unit risk -  $UR$ ), що характеризує значення ризику для однієї одиниці концентрації речовини у об'єкті навколишнього середовища: 1 мг на 1 м<sup>3</sup> повітря.  $UR$  розраховується шляхом поділу  $SF_i$  (фактору канцерогенного потенціалу при інгаляційному впливі) на масу тіла людини  $m$  (кг) та множення на об'єм добової легеневої вентиляції  $V$  (м<sup>3</sup>/добу):

$$UR_i = SF_i \times 1/m \times V.$$

Значення  $SF_i$  та  $UR_i$  дозволяють прогнозувати величини ризику розвитку онкологічних захворювань за конкретних значень експозиції. Наприклад, якщо середньоденна середньорічна концентрація речовини, що впливає на людину протягом усього життя, складає  $C$  (у мг/м<sup>3</sup>), то індивідуальний (додатковий до фонового) ризик розвитку раку буде складати:

$$ICR_i = UR_i \times C_i.$$

Слід зауважити, що ЕОЛ-2000 не дозволяє оцінити ризики загрози здоров'ю для різних експонованих груп.

Величину індивідуального канцерогенного ризику слід оцінювати за наступними критеріями:

1. Неприйнятний (високий) рівень ризику для населення більше  $10^{-4}$ .
2. Допустимий (низький) рівень ризику –  $10^{-4}$ - $10^{-6}$ .
3. Прийнятний (мінімальний) рівень ризику –  $10^{-6}$  і менше.

Серед забруднюючих речовин, що є викидами ТЕЦ, канцерогенну дію чинять хром (VI) та нікель, вони утворюють групи впливу на легені та носову порожнину (тобто є онкогенними щодо органів дихання). Канцерогенний ризик протягом життя від хрому становить  $8,46 \cdot 10^{-4}$ , від нікелю  $5,257 \cdot 10^{-9}$ . Канцерогенний ризик протягом життя від групи впливу на легені та групи впливу на носову порожнину однаковий (оскільки основний внесок від хрому) та становить  $8,46 \cdot 10^{-4}$ , що за законодавством України [30] є прийнятним для професійних контингентів та неприйнятним для населення.

Таким чином, за прийнятого сценарію (дані щодо викидів за 2007 р. при стабільній роботі ТЕЦ, незмінному джерелі постачання газу) викиди від ТЕЦ у зимовий сезон (коли працює це підприємство) за існуючою в Україні методикою (ОНД-86) згідно проведених розрахунків за допомогою програми ЕОЛ-2000 не перевищують допустимі концентраційні межі. Але станом на зараз (опалювальний сезон 2020/2021р.) за відсутності офіційних даних щодо потужності та складу викидів, частого виходу з ладу застарілого обладнання (відбулися навіть надзвичайні аварійні ситуації) можливі деякі відхилення від отриманих результатів.

В той же час газові викиди Сєвєродонецької ТЕЦ у зимовий сезон створюють додаткові (до існуючих) ризики загрози здоров'ю, від яких здебільшого страждають уразливі групи населення – алергіки та астматики.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі проведено моделювання розповсюдження викидів забруднюючих речовин від стаціонарного джерела – димової труби Сєвєродонецької ТЕЦ за допомогою програми ЕОЛ-2000 [h], v4.0, з метою оцінити ступінь забруднення атмосферного повітря на прилеглий території м.Сєвєродонецьк, що створюється цим джерелом, та визначити додаткові ризики загрози здоров'ю.

Визначено, що за прийнятого сценарію (дані щодо викидів за 2007 р.) викиди від ТЕЦ у зимовий сезон за існуючою в Україні методикою (ОНД-86) не перевищують допустимі концентраційні межі, розміри санітарно-захисної зони не потребують коригування. Але викиди Сєвєродонецької ТЕЦ створюють додаткові (хоч і не вагомі) ризики загрози здоров'ю, від яких здебільшого страждають уразливі групи населення – алергіки та астматики.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гусева Н., Задесенцев О. Типологічні ознаки Сєвєродонецько-Лисичанської агломерації // Економічна та соціальна географія. - 2017. - №77. - С. 10-18.
2. Руководство пользователя автоматизированной системы расчета рассеивания выбросов в атмосферу ЭОЛ 2000. – 2017. – 61 с.
3. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів / Міністерство охорони здоров'я України. Наказ №173 від 19.06.1996 р.
4. ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий», - Л: Гидрометеиздат, 1987, - 93 с.
5. Никифоров А. Н., Бузало Н. С. Математическая модель переноса примеси в неизотермической влажной воздушной бреде // Сборник трудов XV Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». - Т. 4. - Тамбов, 2002. - С. 31.
6. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. М. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. - Киев: Наук. думка, 1997. - 365 с.
7. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. - Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. - 463 с.
8. Громова О. В. Аналіз моделей поширення домішок в атмосфері від стаціонарних джерел// Наук. праці УкрНДГМІ. - 2004. - Вип. 253. - С. 173-181.
9. Сонькин Л. Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 250 с.
10. Щербань А. Н., Примак А. В., Стеклогоров Е. Б. Комплексная оценка и оперативное прогнозирование суммарного загрязнения атмосферы // Промышленная теплотехника. - 1980. - Т. 2. - С. 108-118.
11. Air dispersion model's catalogue. Database of European Topic centre on Air and Climate Change. - Режим доступа: <http://pandora.meng.auth.gr>.
12. Каменева І. П. Моделювання забруднення атмосфери на основі Гаусового розподілу концентрацій / І. П. Каменева, О. О. Попов, А. В. Яцишин // Моделювання та інформаційні технології. - К. - 2008. - Вип. 49. - С. 24-31.

13. Лисиченко Г. В. Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г. В. Лисиченко, Г. А. Хміль, С. В. Барбашев. — О.: Астропринт, 2011. — 368 с.
14. Яцишин А. В. Класифікація моделей забруднення атмосферного повітря / А. В. Яцишин, В. О. Артемчук, О. О. Попов // Моделювання та інформаційні технології. - 2012. - Вип. 63. — С. 49-57.
15. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнение атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975, - 448 с.
16. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Модели\\_рассеивания\\_примеси](https://ru.wikipedia.org/wiki/Модели_рассеивания_примеси)
17. Каменева І. П. Математичне моделювання розповсюдження забруднення в атмосфері на основі розв'язку рішення турбулентної дифузії / І. П. Каменева, О. О. Попов // Сборник трудов конференции «Моделирование-2008» (Київ, 14-16 мая 2008 г.). - К. ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2008. - Т. 2. - С. 602-607.
18. URL: <http://www.eco-lugansk.gov.ua/2013-12-12-00-50-06-3/2013-12-12-00-50-06/2013-12-12-00-50-06-3/stan-atmosfernogo-powitrya>
19. URL: [https://cds.climate.copernicus.eu/toolboxeditor/64739/52\\_wind\\_rose](https://cds.climate.copernicus.eu/toolboxeditor/64739/52_wind_rose)
20. СТРАТЕГІЯ адаптації до зміни клімату сільського, лісового та рибного господарств України до 2030 року, (2019). [https://www.uahhg.org.ua/wp-content/uploads/2019/08/Стратегія-адаптації-до-зміни-клімату-сільського-лісового-та-рибного-господарств-України-до-2030-року\\_29.05.19.pdf](https://www.uahhg.org.ua/wp-content/uploads/2019/08/Стратегія-адаптації-до-зміни-клімату-сільського-лісового-та-рибного-господарств-України-до-2030-року_29.05.19.pdf)
21. [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
22. Борщун Ю.В., Кравченко І.В. Ретроспективне дослідження рози вітрів м.Сєверодонецьк // Майбутній науковець – 2020 : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю 4 груд. 2020 р., м. Сєверодонецьк. – Сєверодонецьк : [Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля], 2020. С.50-52. <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/3734>
23. Шаприцкий В.Н. Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы / В.Н. Шаприцкий - М.: Металлургия, 1990. – 416 с.
24. <http://www.lg.ukrstat.gov.ua/sinf/demograf/>
25. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сєверодонецька\\_ТЕЦ](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сєверодонецька_ТЕЦ)
26. Звіт виконання науково-дослідної роботи за темою “Розробка Програми оздоровлення атмосферного повітря м. Сєверодонецька та селищ міської ради в 2011-2015рр.” - Технологічний інститут СНУ ім. В.Даля (м.Сєверодонецьк), 2011. – 60 с.

27. Екологічний паспорт регіону Луганська область 2020, pp. 1–155, 2020, [Online].  
Режим доступу: [http://www.eco-lugansk.gov.ua/images/docs/ekopasport/  
Ekopasport\\_2019.pdf](http://www.eco-lugansk.gov.ua/images/docs/ekopasport/Ekopasport_2019.pdf).

28. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів /  
Міністерство охорони здоров'я України. Наказ №173 від 19.06.1996 р.

29. Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України /  
Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства  
України. Наказ №105 від 10.04.2006.

30. Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я  
населення від забруднення атмосферного повітря. Затв. Наказом МОЗ України від  
13.04.07 № 184. – Київ, 2007. – 40 с.



## ДОДАТКИ