

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК І ТЕХНОЛОГІЙ
(повне найменування інституту, факультету)

КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
МАТЕМАТИКИ
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз стану забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи КНТ-818

Спеціальності 124 – Системний аналіз
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Інтелектуальні технології та прийняття рішень
в складних системах»

Калабіна К.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник Подковаліхіна О.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дубровін В.І.
(прізвище та ініціали)

2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет комп'ютерних наук і технологій

Кафедра Системного аналізу та обчислювальної математики

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 124 – Системний аналіз
(код і найменування)

Освітня програма
(спеціалізація) «Інтелектуальні технології та прийняття рішень в складних системах»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

Г.В. Корніч

«20» червня 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Калабіної Катерини Андріївни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз стану забруднення атмосферного повітря в м. Запоріжжя

керівник проєкту (роботи) Подковаліхіна Олена Олександрівна, к.ф. - м.н., доц.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «11» травня 2022 року № 121

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) «20» червня 2022 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Умови задачі аналізу стану забруднення атмосферного повітря, перелік літературних джерел за темою дослідження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Проведено аналіз публікацій та досліджень за темою роботи. В другому та третьому розділі розглянуто аналіз стану забруднення атмосферного повітря. Наведено постановку задачі методу апроксимації. Описано алгоритм знаходження апроксимаційного многочлена. Використано вбудовану функцію Matlab для побудови апроксимаційного многочлена. Описано алгоритм побудови трендових моделей та вибору із них найкращої. Побудовано прогноз викидів забруднюючої речовини та оцінено його міру точності. Проведено аналіз отриманих результатів та сформовано.

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Подковаліхіна О.О., к.ф.-м.н., доц.		
2	Подковаліхіна О.О., к.ф.-м.н., доц.		
3	Подковаліхіна О.О., к.ф.-м.н., доц.		
Нормоконтроль	Широкорад Д.В., к.ф. - м.н., ст. викл.		

7. Дата видачі завдання «27» вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Сформулювати мету та основні завдання дипломної роботи	27.09.2021 – 22.10.2021	
2	Опрацювати літературу та існуючі дослідження за темою роботи	25.10.2021 – 01.12.2021	
3	Розробка програмної реалізації для вирішення задачі	02.12.2021 – 12.02.2022	
4	Розрахунки та аналіз даних	14.02.2021 – 13.05.2021	
5	Оформлення пояснювальної записки	16.05.2021 – 03.06.2021	
6	Попередній захист дипломної роботи та отримання рецензій.	06.06.2022 – 19.06.2022	
7	Захист дипломної роботи.	20.06.2022	

Студент

Калабіна К.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

Подковаліхіна О.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 62 с., 7 рис., 38 табл., 19 форм., 2 дод., 10 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – методи аналізу в умовах неповних вихідних даних.

Предмет дослідження – аналіз стану забруднення атмосферного повітря в м. Запоріжжя.

Мета роботи – прогнозування динаміки показників забруднення атмосферного повітря у м. Запоріжжя в умовах наявності неповних вихідних даних.

Методи дослідження – метод апроксимації, метод найменших прогнозів, методи прогнозування.

В дипломній роботі розглянуто математичну постановку задачі аналізу стану забруднення атмосферного повітря в м. Запоріжжя. Розглянуто різні варіанти розрахунку. Отримано прогнозовані результати рівня забруднення атмосферного повітря на майбутній період. Проведено визначення рівня похибки проведених розрахунків.

АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМІ КОЕФІЦІЄНТИ, ДІОКСИД АЗОТУ, ЗАБРУДНЮВАЛЬНА РЕЧОВИНА, АПРОКСИМАЦІЯ, ТРЕНДОВІ МОДЕЛІ, КРИТЕРІЇ СЕРІЙ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МІРА ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУ, EXCEL, MATLAB.

ЗМІСТ

Завдання	Ошибка! Закладка не определена.
Реферат	4
Вступ.....	6
1 Огляд літератури та останніх досліджень і публікацій.....	8
2 Аналіз вихідних даних забруднюючих речовин	12
2.1 Екологічне нормування забруднення атмосферного повітря	12
2.2 Постановка задачі методу апроксимації	14
2.3 Метод найменших квадратів	15
2.4 Апроксимуючий многочлен	16
3 Прогнозування викидів оксиду вуглецю на наступний рік	20
3.1 Методи прогнозування.....	20
3.2 Методи прогнозування.....	23
3.3 Побудова прогнозу на 2022 рік.....	30
Висновки	35
Перелік посилань.....	36
Додаток А. Початкові дані	38
Додаток Б. Код програмної реалізації знаходження апроксимаційного многочлена.....	622

ВСТУП

Атмосферне повітря – це природна суміш газів приземного шару атмосфери поза житлових, виробничих та інших приміщень, що склалася під час еволюції Землі.

Атмосфера надійно оберігає людство від численних небезпек, що загрожують йому з космосу: не пропускає метеорити, захищає землю від перегріву, відміряючи сонячну енергію в необхідній кількості, нівелює перепад добових температур, який міг би скласти приблизно 200 К, що є неприйнятним для виживання всіх земних істот. На верхню межу атмосфери щомиті обрушується лавина космічних випромінювань. Якби вони досягли земної поверхні, миттєво зникло б усе, що живе на Землі.

Газова оболонка рятує все, що живе на Землі від згубних ультрафіолетових, рентгенівських та космічних променів. Велике значення атмосфери й у розподілі світла. Повітря атмосфери розбиває сонячні промені на мільйон дрібних променів, розсіює їх і створює рівномірне освітлення, до якого ми звикли. Крім того, атмосфера є середовищем, де розповсюджуються звуки. Без повітря на Землі панувала б тиша, неможлива була б людська мова.

Однак у атмосферу викидається значна кількість газоподібних відходів виробництва.

Забруднювальна речовина – домішка в атмосферному повітрі, що надає при певних концентраціях несприятливий вплив на здоров'я людини, об'єкти рослинного та тваринного світу та інші компоненти навколишнього природного середовища або завдає шкоди матеріальним цінностям.

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря є промисловість та автотранспорт.

Запорізька область – є однією з навантажених областей за промисловим потенціалом, який обумовлений наявністю і концентрацією підприємств чорної і кольорової металургії, теплоенергетики, атомної енергетики, хімії,

машинобудування. Регіон є провідним центром вітчизняного авіадвигунобудування, виробництва трансформаторів та іншої високотехнологічної продукції, яка є фірмовим знаком Запоріжжя, маркою світового класу якості та надійності.

Значна частина промислових підприємств розташована в центрі житлових забудов, що формує основне техногенне навантаження на навколишнє середовище населених пунктів.

Ситуацію загострює розташування основного промвузла з навітряної сторони стосовно житлових районів міста, що впливає на їх загазованість.

Основними забруднювачами атмосферного повітря в регіоні залишаються підприємства чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, хімії, машинобудування, на які припадає майже 90 % викидів від загальної кількості забруднюючих речовин по області [1].

Від забруднення повітря страждають тварини та рослини.

Вплив сірчистого газу та його похідних на людину та тварин проявляється насамперед у поразці верхніх дихальних шляхів, під впливом сірчистого газу та сірчаної кислоти відбувається руйнування хлорофілу в листі рослин, у зв'язку з чим погіршується фотосинтез та дихання, уповільнюється зростання, знижується якість деревних насаджень та врожайність сільськогосподарських культур, а при більш високих та тривалих дозах впливу рослинність гине.

Забруднена атмосфера спричиняє збільшення кількості захворювань дихальних шляхів. Стан атмосфери позначається показниками захворюваності у різних районах індустріальних міст.

Забруднення надають і інші несприятливі впливи, призводячи до таких проблем як парниковий ефект, озонові «дірки», смоги, «кислотні дощі».

Тому метою роботи є проаналізувати стан забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя, визначити наскільки змінюється тенденція протягом двох років та спрогнозувати збільшується чи зменшуються кількість викидів у атмосферне повітря.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У статті [2] розглянуто тему використання оцінки ризику при управлінні якістю повітря та збереженні громадського здоров'я. Методологічна база гігієни повітря вимагає удосконалення законодавством, яке можливо з врахуванням прикладу країн ЄС. Це дозволить скоординувати діяльність санітарно-епідеміологічних та екологічних служб і допомогти у координації міжсекторних зусиль для вирішення медико-екологічних питань міських територій у загальній системі управління якістю повітря та збереження громадського здоров'я.

У статті [3] проаналізовано міжнародні законодавчі документи, які регулюють якість атмосферного повітря. Автори дійшли висновку, що для завершення транспозиції вимог європейського законодавства на шляху для вступу України до ЄС та ратифікованих документів, необхідно вжити таких першочергових заходів:

- Оцінити нижній та верхній порогові оцінювання небезпеки забруднення атмосферного повітря для здоров'я населення та поставити у залежність спосіб оцінювання від якості атмосферного повітря, як це зазначено в Конвенції про трансграничне забруднення повітря на великі відстані та Директиви 2008/50/ЄС.

- Забезпечити виконання Директиви 2008/50/ЄС за допомогою використання оцінки ризику для здоров'я населення, шляхом визначення зон та агломерацій по всій території України за ступенем забруднення атмосферного повітря, а також порядок перегляду класифікації зон та агломерації залежно від порогів оцінювання.

- Встановити взаємозв'язок між різними методами вимірювання, як того вимагає Рамкова Конвенція ООН по змінам клімату та Директива 2008/50/ЄС.

– Покласти в основу принципів підготовки місцевих, регіональних або національних планів оцінку покращення якості атмосферного повітря, базовану на ймовірнісному підході.

– Підвищити якість співпраці з громадськістю в межах імплементації Орхуської конвенції, сприяти розвитку інформаційних систем щодо оцінки якості повітря та стану здоров'я населення з використаннями переліку індикаторних показників.

У статті [4] досліджено вплив забруднення на населення та навколишнє середовище в п'яти промислових містах України. Результати показали, що в донних відкладах досліджуваних міст виявлено підвищений рівень вмісту цинку, кадмію, міді, нікелю, свинцю, хрому та миш'яку. Для навколишнього середовища та здоров'я населення такий рівень може становити загрозу. Найбільш поширеними важкими металами у дослідженні є кадмій, а потім цинк. Також автори виявили у досліджуваних містах широкомасштабне забруднення нафтовими вуглеводнями. Через певні перешкоди не змогли провести повномасштабне дослідження, необхідне для всебічного моніторингу важких металів. Для правильної оцінки забруднення навколишнього середовища, спричиненого важкими металами у відкладах, ґрунтах та піску, в Україні необхідно прийняти на законодавчому рівні нормативи для цих речовин. Ці нормативи повинні відповідати природній концентрації важких металів і дозволяти виявити забруднення, яке може становити небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я населення.

У статті [5] розглянуто еколого-економічні засади охорони та використання атмосферного повітря в Україні. На основі множинної економетричної моделі залежності обсягу викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря за регіонами України зробили висновок, що основний вплив на залежну змінну здійснив обсяг реалізованої продукції товарів і послуг промисловості. Було побудовано парні регресійні моделі залежності обсягу викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря. У моделях виявлено численний вплив на залежну змінну таких факторів, як обсяг спалених відходів,

кількість легкових автомобілів у приватній власності та загальний обсяг інноваційних витрат.

У статті [6] розглянуто металургійні підприємства, як джерело забруднення атмосферного повітря та фактор ризику погіршення здоров'я населення на прикладі Дніпровського металургійного комбінату (ДМК). Технологічний процес ДМК формує потужне техногенне забруднення атмосферного повітря, питома вага викидів якого становить 94,0 – 94,3% від всіх інших підприємств. Основною речовиною, яка забруднює атмосферне повітря, є оксид вуглецю – у межах 73,4 – 75,6%. На другому місці завислі речовини: 12,97 – 13,7%, третє місце – діоксин та інші сполуки сірки: 7,4 – 8,67%, на четвертому місці викиди сполук азоту: 3,57 – 4,0%. Попри постійне зниження обсягів викидів у атмосферне повітря рівень забруднення завислими речовинами в зоні впливу підприємств є неприпустимим і створює небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я населення різного ступеня ураження. На основі цих досліджень, автори розробили комплекс профілактичних заходів, спрямованих на удосконалення природоохоронної діяльності підприємства, яка дозволить підняти її на новий рівень, сформуванню сучасну економічну політику і розробити принципи формування інформаційних потоків природоохоронних заходів заводу, забезпечивши, таким чином, його функціонування як успішної саморегулюючої техноекосистеми, з метою поліпшення якості атмосферного повітря і зниження ризиків його впливу на здоров'я населення.

У статті [7] розглянуто екологію міста Полтава: якість атмосферного повітря. Найбільшим джерелом забруднення у місті та області є автотранспорт, викиди якого складають більше половини викидів від загальної кількості. Серед стаціонарних джерел забруднення головними є підприємства міст Кременчука та Комсомольська. Основними стаціонарними джерелом забруднення в Полтаві є ПАТ (публічне акціонерне товариство) «Полтавський турбомеханічний завод», підприємства ПАТ «Полтаватеплоенерго», ПАТ «Полтавський алмазний інститут», ТОВ завод «Газорозрядних ламп», заводи ПАТ «Полтавахіммаш» та ін. За даними спостереженнями автори зробили висновок,

що загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Полтаві нижчий за середній по Україні. Тобто, за станом атмосферного повітря статус одного з найчистіших міст України продовжує отримувати Полтава.

У статті [8] проаналізували ризики для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря промисловими підприємствами м. Запоріжжя. Автори розглянули, що виконані дослідження надають можливість визначити прийнятні рівні ризики здоров'я населення міста і в першу чергу спрямувати усі зусилля на подолання рівнів неприпустимого ризику від хімічних речовин, що створюють небезпеку високого рівня. Звертаючи увагу на те, що кінцева величина ризику після проведення природоохоронних та профілактичних заходів повинна досягти цільового ризику, потрібно обговорити питання можливості міста щодо зниження викидів саме цих речовин та умов специфічної профілактики для цільової групи населення, яке проживає в точках ураження.

2 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

2.1 Екологічне нормування забруднення атмосферного повітря

Сьогодні одним з актуальних питань є стан забруднення атмосферного повітря. Найбільшої шкоди завдає антропогенне забруднення. За джерелами виникнення штучне забруднення поділяються на:

- промислові;
- транспортні;
- сільськогосподарські;
- побутові.

Більш усього шкоди атмосферне повітря зазнає від промислових підприємств.

Запоріжжя – одне з найбільших індустріальних центрів Південної України з розвиненим машинобудуванням, чорною та кольоровою металургією, хімічною та будівельною промисловістю, річковим портом і важливим транзитним залізничним вузлом. Вагомий внесок в забруднення атмосферного повітря Запорізької області (60-70 %) вносять викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел ПАТ «Запоріжсталь», ПрАТ «Дніпроспецсталь», ПрАТ «Український графіт», ПрАТ «Запоріжвогнетрив», ВП Запорізька ТЕС АТ «ДТЕК ДНПРОЕНЕРГО» та інші.

Екологічні стандарти і екологічне нормування — регулятор антропогенного навантаження на екосистеми. Завдяки встановленню екологічних норм і нормативів визначаються межі впливу господарської діяльності на навколишнє природне середовище і забезпечуються належні умови для існування людини.

Нормативи гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин у навколишньому середовищі та рівні шкідливих фізичних впливів на нього є єдиними для всієї території України (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Значення ГДК забруднюючих речовин атмосферного повітря

Забруднююча речовина	Гранично допустима концентрація (ГДК), мг/м ³	
	середньодобова	максимально разова
Діоксид азоту	0,04	0,2
Діоксид сірки	0,05	0,5
Завислі речовини	0,15	0,5
Оксид азоту	0,06	0,4
Оксид вуглецю	3,0	5,0
Фенол	0,003	0,01
Формальдегід	0,003	0,035
Фтористий водень	0,005	0,02
Хлористий водень	0,2	0,2

«Граничні допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених міст», затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.01.2020 № 52.

Для аналізу були використані середньодобові концентрації забруднювальних речовин в кратності ГДК за 2020 – 2021 роки, зображені у Додатку А (дані з <https://mepr.gov.ua> – міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України).

Основними забруднюючими речовинами є оксиди вуглецю, азоту, діоксиди сірки, аміак, феноли, формальдегід, бензапірен та завислі речовини. У більшій кількості літератури та інтернет-джерел оксид вуглецю займає перше місце по кількості викидів у атмосферне повітря. Тому надалі будемо працювати саме з цією хімічною сполукою.

Оскільки дані за кожен місяць протягом двох років вимірювались не систематично, було вирішено розрахувати середньомісячне значення (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Середньомісячні дані оксиду вуглецю

Період	Оксид вуглецю
Січ.20	0,34
Лют.20	0,396
Бер.20	0,39
Кві.20	0,36
Тра.20	0,35
Чер.20	0,399
Лип.20	0,37
Сер.20	–
Вер.20	0,43
Жов.20	0,38
Лис.20	–
Гру.20	–
Січ.21	–
Лют.21	–
Бер.21	–
Кві.21	0,43
Тра.21	0,49
Чер.21	0,44
Лип.21	0,58
Сер.21	–
Вер.21	0,36
Жов.21	0,45
Лис.21	0,62
Гру.21	0,38

Для аналізу нам необхідно мати дані за кожен місяць протягом двох років, тому потрібно відновити усі значення. Для цього застосуємо метод апроксимації.

2.2 Постановка задачі методу апроксимації

Метод апроксимації – це відновлення функції по заданих вузлах.

Нехай функція $y = f(x)$ задана таблицею своїх значень (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – значення функції $y = f(x)$

x	x_0	x_1	...	x_n
y	y_0	y_1	...	y_n

А сама функція вважається невідомою. Побудуємо таку функцію $\varphi(x, c) = \varphi(x, c_0, c_1, \dots, c_m)$, яка не повністю збігається із заданою $f(x)$ в заданих вузлах. На практиці частково виникає задача апроксимації таблично заданої функції, значення якої відомо приблизно. В цьому випадку будують функцію $\varphi(x, c)$, яка проходить поблизу заданих точок, а не точно через них, що дозволяє згладити вплив випадкових помилок в значення функції [9].

Найбільш відомим і ефективним з методів розв'язання задачі апроксимації функцій є метод найменших квадратів (МНК).

2.3 Метод найменших квадратів

Апроксимуюча функція $\varphi(x)$ береться з певного параметричного сімейства функцій, і її параметри підбираються так, щоб сума квадратів відхилень обчислюваних значень $\varphi(x_i)$ від заданих наближених значень y_i була мінімальною. Число даних наближень значень y_i має бути не меншим ніж число параметрів в $\varphi(x)$. Задаємо $y = \varphi(x, a_1, \dots, a_m)$ і шукаємо значення параметрів в a_i , розв'язуючи екстремальну задачу:

$$\sum_{i=0}^n (\varphi(x, a_1, \dots, a_m) - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (2.1)$$

Оптимальний набір параметрів може бути знайдений з системи:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n (\varphi(x, a_1, \dots, a_m) - y_i) \frac{\partial \varphi}{\partial a_1} \Big|_{x=x_i} = 0 \\ \sum_{i=0}^n (\varphi(x, a_1, \dots, a_m) - y_i) \frac{\partial \varphi}{\partial a_m} \Big|_{x=x_i} = 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

2.4 Апроксимуючий многочлен

Для методу апроксимації нам необхідно визначитись з вузлами апроксимації. Вузли потрібно обрати таким чином, щоб вони були рівномірно віддалені. Через те що у нас є поспіль 5 місяців, де немає значень, ми можемо обрати в якості двох вузлів 10 та 16 місяці, відповідно з таким самим кроком у нас з'являються ще два вузли 4 та 22 місяці. Таким чином, виходячи з тієї кількості даних які ми маємо та з урахуванням кількості відсутніх поспіль вимірювальних значень, будемо апроксимацію на 4-ьох вузлах (рис. 2.1). Скористаємось для цього вбудованою функцією Matlab (Додаток Б).

```
>> format long
>> run('E:\diplom\poly.m')

x =
     4    10    16    22

y =
 0.360000000000000  0.380000000000000  0.430000000000000  0.450000000000000

p3 =
-0.000046296296296  0.001805555555556  -0.014722222222222  0.392962962962963

y3 =
 0.360000000000000  0.380000000000000  0.430000000000000  0.450000000000000

err =
 3.697785493223493e-33
```

Рисунок 2.1 – Значення апроксимаційного многочлена.

Оскільки у нас 4 вузли, ми можемо побудувати апроксимаційний многочлен 3-го ступеня:

$$\varphi_4 = -0,00005x^3 + 0,00181x^2 - 0,01472x + 0,39296 \quad (2.3)$$

Наступний крок обчислити значення апроксимуючої функції в точках, що задані в умові (табл. 2.4). Далі, щоб проаналізувати отримані результати та зробити висновки нам потрібно розрахувати залишки (похибку).

Таблиця 2.4 – Розрахунок значень та залишків апроксимуючої функції

Вузли	Значення	Polyval3 format long	Похибка	
1	0,34			
2	0,396			
3	0,39			
4	0,36	0,36	0,000000000000000	0,000
5	0,35	0,358703703703749	0,00870370370375	0,009
6	0,399	0,359629629629707	0,03937037037029	0,039
7	0,37	0,362500000000120	0,00749999999988	0,007
8		0,367037037037213		
9	0,43	0,372962962963211	0,05703703703679	0,057
10	0,38	0,38	0,000000000000000	0,000
11		0,387870370370813		
12		0,396296296296867		
13		0,405000000000720		
14		0,413703703704597		
15		0,422129629630723		
16	0,43	0,43	0,000000000000000	0,000
17	0,49	0,437037037038613	0,05296296296139	0,053
18	0,44	0,442962962964826	0,00296296296483	0,003
19	0,58	0,447500000002184	0,13249999999782	0,132
20		0,450370370372909		
21	0,36	0,451296296299226	0,09129629629923	0,091
22	0,45	0,45	0,000000000000000	0,000
23	0,62			
24	0,38			

Найбільша похибка у нас дорівнює 0.132, а це значення в десятих знаках, що припустимо.

Після цього нам потрібно підставити розраховані дані замість пропусків у місяці, де немає даних про вимірювання (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Середньомісячні дані оксиду вуглецю

Період	Оксид вуглецю
Січ.20	0,34
Лют.20	0,396
Бер.20	0,39
Кві.20	0,36
Тра.20	0,35
Чер.20	0,399
Лип.20	0,37
Сер.20	0,367
Вер.20	0,43
Жов.20	0,38
Лис.20	0,388
Гру.20	0,396
Січ.21	0,405
Лют.21	0,414
Бер.21	0,422
Кві.21	0,43
Тра.21	0,49
Чер.21	0,44
Лип.21	0,58
Сер.21	0,450
Вер.21	0,36
Жов.21	0,45
Лис.21	0,62
Гру.21	0,38

Наступний крок, побудова графіку.



Рисунок 2.2 – Графік динаміки викидів оксиду вуглецю

Аналізуючи графік (рис. 2.2), можемо сказати, що основна тенденція нам показує, що викиди оксиду вуглецю збільшуються протягом двох років.

3 ПРОГНОЗУВАННЯ ВИКИДІВ ОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ НА НАСТУПНИЙ РІК

3.1 Методи прогнозування

Під прогнозуванням мається на увазі науково обґрунтоване передбачення ймовірнісних шляхів розвитку явищ і процесів для більш-менш віддаленого майбутнього.

Прогнозування засноване на зберіганні загальної тенденції розвитку явищ у часі, тому на практиці процес прогнозування зводиться до добору на підставі даних минулих періодів аналітичних залежностей досліджуваного параметра від чинників, що впливають, і екстраполяції цих залежностей на майбутнє. Прогноз показника одержують підстановкою необхідного значення чинника в отримане регресійне рівняння. Таким чином, прогнозне значення є точковою оцінкою середнього значення показника при даних рівнях чинників

Статистичні спостереження в соціально-економічних дослідженнях зазвичай проводяться регулярно через рівні відрізки часу і представляються у вигляді часових рядів x_t , де $t = 1, 2, \dots, n$. Як інструмент статистичного прогнозування часових рядів служать трендові регресійні моделі, параметри яких оцінюються за наявної статистичної бази, а потім основні тенденції (тренди) екстраполюються на заданий інтервал часу.

Методологія статистичного прогнозування передбачає побудову та випробування багатьох моделей для кожного часового ряду, їх порівняння на основі статистичних критеріїв і відбір найкращих з них для прогнозування.

Основою більшості методів прогнозування є екстраполяція, пов'язана з поширенням закономірностей, зв'язків і співвідношень, що діють в досліджуваному періоді, за його межі, або – у більш широкому сенсі слова – це отримання уявлень про майбутнє на основі інформації, що відноситься до минулого і сучасного.

Найбільш відомі і широко застосовуються трендові та адаптивні методи прогнозування. Серед останніх можна виділити такі, як методи авторегресії, ковзного середнього (Боксу - Дженкінса і адаптивної фільтрації), методи експоненціального згладжування (Хольта, Брауна і експоненційної середньої) та ін. [10].

Трендова модель – це модель, котра визначає загальний напрям розвитку, головну тенденцію (тренд) часових рядів (рядів динаміки).

Види трендових моделей:

- лінійна ($y = ax + b$);
- параболічна ($y = ax^2 + bx + c$);
- кубічна парабола ($y = ax^3 + bx^2 + cx + d$);
- показникова ($y = ab^x$);
- експоненціальна ($y = ae^{bt}$);
- степенева ($y = ax^b$);
- гіперболічна ($y = a + b\frac{1}{x}$).

Розробка прогнозу потребує визначення його точності та надійності.

Точність прогнозу можна визначити розрахувавши помилку прогнозу, тобто різницю між прогнозними та фактичними значеннями. Такий підхід застосовують у двох випадках: коли прогнозний період вже настав і відомі фактичні значення прогнозованого показника, або, коли проводиться ретроспективний аналіз прогнозних значень, тобто розраховуються прогнозні значення для минулих періодів.

Основними мірами точності прогнозу є:

- 1) Середня квадратична помилка прогнозу за періодів:

$$MSE = \frac{1}{\tau} \sum_{i=T+1}^{T+\tau} (y - y_t)^2 \quad (3.1)$$

- 2) Корінь із середньоквадратичної помилки:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=T+1}^{T+\tau} (y - y_t)^2} \quad (3.2)$$

3) Середня абсолютна помилка:

$$\text{MAD} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=T+1}^{T+\tau} |y - y_t| \quad (3.3)$$

4) Корінь із середньоквадратичної помилки прогнозу у відсотках від фактичних значень:

$$\text{RMSPE} = 100 \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=T+1}^{T+\tau} \left(\frac{y - y_t}{y} \right)^2} \quad (3.4)$$

5) середня абсолютна помилка прогнозу у відсотках:

$$\text{MAPE} = \frac{100}{\tau} \sum_{i=T+1}^{T+\tau} \left| \frac{y - y_t}{y} \right| \quad (3.5)$$

Останні дві міри точності прогнозу визначаються у відсотках, тому визначити якість прогнозів можна використовуючи наступну градацію (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Класифікація прогнозів за якістю

MAPE, RMSPE	Точність прогнозу
Менше 10%	Висока
10% – 20%	Хороша
20% – 40%	Задовільна
40% – 50%	Погана
Більше 50%	Незадовільна

3.2 Методи прогнозування

Для прогнозу нам необхідно побудувати трендові моделі (рис. 3.4). Ми обрали три основні види трендових моделей: лінійна (рис. 3.1), степенева (рис. 3.2), параболічна (рис. 3.3).

Регресійна статистика								
Множинний R	0,58648							
R-квадрат	0,34396		$y = 0,0056 \cdot x + 0,3474$					
Нормований R-квадрат	0,31414							
Стандартна помилка	0,05555							
Спостереження	24							
Дисперсійний аналіз								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значущість F</i>			
Регресія	1	0,0355955	0,035596	11,53441	0,00259			
Залишок	22	0,0678927	0,003086					
Всього	23	0,1034882						
	<i>Коефіцієнти</i>	<i>Стандартна помилка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-значення</i>	<i>Нижні 95%</i>	<i>Верхні 95%</i>	<i>Нижні 95,0%</i>	<i>Верхні 95,0%</i>
Y-перетин	0,3474	0,0234069	14,84313	6,07E-13	0,29889	0,39597	0,29889	0,39597
Змінна X 1	0,0056	0,0016381	3,396235	0,002595	0,00217	0,00896	0,00217	0,00896

Рисунок 3.1 – Регресійний аналіз для лінійної моделі

Таблиця 3.2 – Розрахунок значень лінійної моделі, суму квадратів помилок та середню абсолютну помилку прогнозу

x	y	Лінійна модель	$(y - y_d)^2$	MAPE
1	0,34	0,353	0,00017	0,03822
2	0,396	0,359	0,00140	0,09455
3	0,39	0,364	0,00067	0,06635
4	0,36	0,370	0,00009	0,02690
5	0,35	0,375	0,00064	0,07214
6	0,399	0,381	0,00033	0,04558
7	0,37	0,386	0,00027	0,04426
8	0,367	0,392	0,00062	0,06785
9	0,43	0,398	0,00106	0,07557
10	0,38	0,403	0,00053	0,06070

Продовження таблиці 3.2

x	y	Лінійна модель	$(y - y_d)^2$	MAPE
11	0,388	0,409	0,00043	0,05352
12	0,396	0,414	0,00032	0,04516
13	0,405	0,420	0,00022	0,03644
14	0,414	0,425	0,00013	0,02808
15	0,422	0,431	0,00008	0,02074
16	0,43	0,436	0,00004	0,01499
17	0,49	0,442	0,00230	0,09794
18	0,44	0,448	0,00006	0,01722
19	0,58	0,453	0,01609	0,21873
20	0,450	0,459	0,00007	0,01850
21	0,36	0,464	0,01087	0,28963
22	0,45	0,470	0,00039	0,04406
23	0,62	0,475	0,02091	0,23324
24	0,38	0,481	0,01019	0,26567
		Sum	0,06789	1,97605

ВИВЕДЕННЯ ПІДСУМКІВ								
<i>Регресійна статистика</i>								
Множинний R	0,557627							
R-квадрат	0,310948	y = 0,33001*x^0,09773						
Нормований R-квадрат	0,279627							
Стандартна помилка	0,123538							
Спостереження	24							
<i>Дисперсійний аналіз</i>								
	df	SS	MS	F	Значущість F			
Регресія	1	0,15152	0,151515	9,927904	0,00464			
Остаток	22	0,33575	0,015262					
Итого	23	0,48727						
	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-Значення	Нижні 95%	Верхні 95%	Нижні 95,0%	Верхні 95,0%
Y-перетин	-1,10864	0,07516	-14,7503	6,88E-13	-1,2645	-0,9528	-1,2645	-0,9528
Змінна X 1	0,09773	0,03102	3,150858	0,004638	0,03341	0,16206	0,03341	0,16206
exp y-пер	0,33001							

Рисунок 3.2 – Регресійний аналіз для степеневі моделі

Таблиця 3.3 – Розрахунок значень степеневі моделі, суму квадратів помилок та середню абсолютну помилку прогнозу

Ln(x)	Ln(y)	Степенева модель	$(y - y_c)^2$	MAPE
0	-1,07881	0,330	0,00010	0,02939
0,69315	-0,92634	0,353	0,00184	0,10824
1,09861	-0,94161	0,367	0,00051	0,05792
1,38629	-1,02165	0,378	0,00032	0,04969
1,60944	-1,04982	0,386	0,00131	0,10348
1,79176	-0,91879	0,393	0,00003	0,01463
1,94591	-0,99425	0,399	0,00085	0,07873
2,07944	-1,00229	0,404	0,00139	0,10173
2,19722	-0,84397	0,409	0,00044	0,04871
2,30259	-0,96758	0,413	0,00111	0,08760
2,3979	-0,94708	0,417	0,00086	0,07551
2,48491	-0,92559	0,421	0,00060	0,06163
2,56495	-0,90387	0,424	0,00036	0,04697
2,63906	-0,88261	0,427	0,00018	0,03240
2,70805	-0,86244	0,430	0,00006	0,01863
2,77259	-0,84397	0,433	0,00001	0,00632
2,83321	-0,71335	0,435	0,00299	0,11166
2,89037	-0,82098	0,438	0,00001	0,00517
2,94444	-0,54473	0,440	0,01959	0,24130
2,99573	-0,79768	0,442	0,00007	0,01801
3,04452	-1,02165	0,444	0,00712	0,23436
3,09104	-0,79851	0,446	0,00001	0,00801
3,13549	-0,47804	0,448	0,02947	0,27687
3,17805	-0,96758	0,450	0,00493	0,18476
		Sum	0,07415	1,97233

Виведення підсумків										
Регресійна статистика										
Множинний R	0,586814									
R-квадрат	0,344351				$y = 0,00003 * x^2 + 0,0048 * x + 0,35073$					
Нормований R-квадрат	0,281908									
Стандартна помилка	0,056842									
Спостереження	24									
Дисперсійний аналіз										
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значущість F</i>					
Регресія	2	0,03564	0,017818	5,51466	0,01189					
Залишок	21	0,06785	0,003231							
Всього	23	0,10349								
	<i>Коефіцієнти</i>	<i>Стандартна помилка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-значення</i>	<i>Нижні 95%</i>	<i>Верхні 95%</i>	<i>Нижні 95,0%</i>	<i>Верхні 95,0%</i>		
Y-перетин	0,3507310	0,03793	9,247947	7,5E-09	0,27186	0,4296	0,27186	0,4296		
Змінна X 1	0,0048021	0,00699	0,687003	0,4996	-0,0097	0,01934	-0,0097	0,01934		
Змінна X 2	0,0000305	0,00027	0,112207	0,91172	-0,0005	0,00059	-0,0005	0,00059		

Рисунок 3.3 – Регресійний аналіз для параболічної моделі

Таблиця 3.4 – Розрахунок значень параболічної моделі, суму квадратів помилок та середню абсолютну помилку прогнозу

x	x ²	y	Параболічна модель	$(y - y_{\text{п}})^2$	MAPE
1	1	0,34	0,356	0,00024	0,03822
2	4	0,396	0,360	0,00126	0,09455
3	9	0,39	0,365	0,00060	0,06635
4	16	0,36	0,370	0,00011	0,02690
5	25	0,35	0,376	0,00065	0,07214
6	36	0,399	0,381	0,00034	0,04558
7	49	0,37	0,386	0,00025	0,04426
8	64	0,367	0,391	0,00058	0,06785
9	81	0,43	0,396	0,00113	0,07557
10	100	0,38	0,402	0,00048	0,06070
11	121	0,388	0,407	0,00038	0,05352
12	144	0,396	0,413	0,00027	0,04516
13	169	0,405	0,418	0,00018	0,03644
14	196	0,414	0,424	0,00010	0,02808
15	225	0,422	0,430	0,00006	0,02074

Продовження таблиці 3.4

x	x ²	y	Параболічна модель	(y - y _п) ²	MAPE
16	256	0,43	0,435	0,00003	0,01499
17	289	0,49	0,441	0,00238	0,09794
18	324	0,44	0,447	0,00005	0,01722
19	361	0,58	0,453	0,01614	0,21873
20	400	0,450	0,459	0,00007	0,01850
21	441	0,36	0,465	0,01103	0,28963
22	484	0,45	0,471	0,00045	0,04406
23	529	0,62	0,477	0,02037	0,23324
24	576	0,38	0,484	0,01072	0,26567
			Sum	0,06785	1,96440



Рисунок 3.4 – Графік трендові моделі оксиду вуглецю

Щоб визначити, яка модель найкраще описує початкові дані, у якості критерію вибору ми обираємо: суму квадратів помилок та середню абсолютну помилку прогнозу (MAPE). Обидва критерії повинні мати найменше значення (табл. 3.2 – 3.4). Нам підходить третя модель – параболічна.

Для обраної моделі перевіряємо гіпотезу про правильність вибору виду тренду застосовуючи критерій серій, оснований на медіані вибірки.

Найбільш простим способом перевірки припущення про випадковість ε_t є визначення коефіцієнту кореляції між відхиленнями від тренду ε_t і чинником часу t та перевірка його значущості. Однак цей зв'язок може бути нелінійним. Тому характер відхилень доцільно вивчати за допомогою непараметричних критеріїв, таких як, заснований на медіані вибірки, критерій “зростаючих” та “спадаючих” серій тощо. Позначимо e_t розходження між фактичними і розрахованими за моделлю рівнями часового ряду $\varepsilon_t = y_t - \hat{y}_t, (t = 1, 2, \dots, n)$.

Критерій серій, оснований на медіані вибірки. Згідно з критерієм серій ряд з величин e_t розташовують у порядку зростання їх значень і знаходять медіану e_m одержаного варіаційного ряду, тобто значення, що знаходиться в середині для непарного n або середню арифметичну з двох середніх значень для n парного.

Повертаючись до вхідної послідовності e_t і порівнюючи значення цієї послідовності з e_m , ставлять знак «плюс», якщо значення e_t , перевищує медіану, і знак «мінус», якщо воно менше за медіану; у випадку однаковості порівнюваних величин відповідне значення e_t пропускається.

Отже, отримуємо послідовність, яка складається із плюсів та мінусів, загальна кількість яких не перевищує n . Послідовність поспіль розташованих плюсів або мінусів називається серією. Для того щоб послідовність e_t була випадковою вибіркою, довжина найдовшої серії не повинна бути занадто великою, а загальна кількість серій – занадто малою (табл. 3.5).

Позначимо довжину найдовшої серії через k_{max} , а загальну кількість серій - через v . Вибірка вважається випадковою, якщо виконуються наступні нерівності для 5-го рівня значущості:

$$k_{max} < [3.3(\ln n + 1)], \quad (3.6)$$

$$v > \left[\frac{1}{2} (n + 1 - 1.96\sqrt{n - 1}) \right], \quad (3.7)$$

де квадратні дужки означають цілу частину числа.

Якщо хоча б одна з цих нерівностей порушується, то гіпотеза про випадковий характер відхилень рівнів часового ряду від тренду спростовується і, отже, модель тренду признається неадекватною.

Таблиця 3.5 – Розрахунок залишків та серій для параболічної моделі

Залишки		
-0,016	-	1
0,036	+	
0,025	+	2
-0,010	-	
-0,026	-	2
0,018	+	1
-0,016	-	
-0,024	-	2
0,034	+	1
-0,022	-	
-0,019	-	
-0,016	-	
-0,013	-	4
-0,010	+	
-0,007	+	
-0,005	+	
0,049	+	
-0,007	+	
0,127	+	
-0,009	+	7
-0,105	-	
-0,021	-	2
0,143	+	1
-0,104	-	1
Медіана	-0,010	

Оскільки за підрахунком кількості серій та найдовшої з них в нас вийшло, що $v = 11$, $k_{max} = 7$,. Ми можемо порівняти їх із розрахованими значеннями:

$$v = 11 > 7.8, \quad (3.8)$$

рівність виконується, тобто модель тренду є адекватною;

$$k_{max} = 7 < 13.79, \quad (3.9)$$

рівність виконується, тобто вибірка вважається випадковою.

3.3 Побудова прогнозу на 2022 рік

Для побудови прогнозу викидів оксиду вуглецю в атмосферне повітря в 2022 році (табл. 3.6) ми використовуємо параболічну модель:

$$y = 0,0000305x^2 + 0,0048021x + 0,3507310 \quad (3.10)$$

Таблиця 3.6 – Прогноз викидів оксиду вуглецю на 2022 рік

Період	Оксид вуглецю	Прогноз
Січ.20	0,34	0,356
Лют.20	0,396	0,360
Бер.20	0,39	0,365
Кві.20	0,36	0,370
Тра.20	0,35	0,376
Чер.20	0,399	0,381
Лип.20	0,37	0,386
Сер.20	0,367	0,391
Вер.20	0,43	0,396
Жов.20	0,38	0,402
Лис.20	0,388	0,407
Гру.20	0,396	0,413
Січ.21	0,405	0,418
Лют.21	0,414	0,424
Бер.21	0,422	0,430
Кві.21	0,43	0,435
Тра.21	0,49	0,441
Чер.21	0,44	0,447

Продовження таблиці 3.6

Період	Оксид вуглецю	Прогноз
Лип.21	0,58	0,453
Сер.21	0,450	0,459
Вер.21	0,36	0,465
Жов.21	0,45	0,471
Лис.21	0,62	0,477
Гру.21	0,38	0,484
Січ.22		0,490
Лют.22		0,496
Бер.22		0,503
Кві.22		0,509
Тра.22		0,516
Чер.22		0,522
Лип.22		0,529
Сер.22		0,536
Вер.22		0,542
Жов.22		0,549
Лис.22		0,556
Гру.22		0,563

За формулами (3.1) – (3.5) визначити міри точності прогнозу, за умови що $\tau = 3$.

Для визначення мір точності прогнозів необхідно обрати глибину періоду розрахунку, в нашому випадку $\tau = 3$. Слід також зазначити, що якщо ряд, який аналізується є не дуже великим, наприклад має 24 значень, то для розрахунків можна використовувати всі 24 значень ряду. У випадку коли прогнозний період ще не настав, помилки прогнозу розраховуються ретроспективно, таким чином, наприклад формули (3.1) – (3.5) будуть мати вигляд:

- 1) Середня квадратична помилка прогнозу за періодів:

$$MSE = \frac{1}{\tau} \sum_{i=T-\tau+1}^T (y - y_t)^2 \quad (3.11)$$

- 2) Корінь із середньоквадратичної помилки:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=T-\tau+1}^T (y - y_t)^2} \quad (3.12)$$

3) Середня абсолютна помилка:

$$\text{MAD} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=T-\tau+1}^T |y - y_t| \quad (3.13)$$

4) Корінь із середньоквадратичної помилки прогнозу у відсотках від фактичних значень:

$$\text{RMSPE} = 100 \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=T-\tau+1}^T \left(\frac{y - y_t}{y} \right)^2} \quad (3.14)$$

5) середня абсолютна помилка прогнозу у відсотках:

$$\text{MAPE} = \frac{100}{\tau} \sum_{i=T-\tau+1}^T \left| \frac{y - y_t}{y} \right| \quad (3.15)$$

Нам необхідно розрахувати дані за якими будемо перевіряти прогноз. У нас є $\tau = 3$ та $T = 24$. Отже:

$$i = T - \tau + 1 = 24 - 3 + 1 = 22 \quad (3.16)$$

Тоді для розрахунків перевірки прогнозів ми будемо брати значення з 22 по 24 (табл. 3.7 – 3.8).

Таблиця 3.7 – Перший етап розрахунків для визначення мір точності прогнозу

x	Оксид вуглецю	Прогноз	$ y - y_{п} $	$(y - y_{п})^2$	$\left \frac{y - y_{п}}{y} \right $	$\left(\frac{y - y_{п}}{y} \right)^2$
22	0,45	0,471	0,021118017	0,00045	0,046928927	0,00220
23	0,62	0,477	0,142709326	0,02037	0,230176332	0,05298
24	0,38	0,484	0,103524245	0,01072	0,272432224	0,07422

Таблиця 3.8 – Другий етап розрахунків для визначення мір точності прогнозу

SUM ₂₂₋₂₄	0,26735
SUM ₂₂₋₂₄	0,03153
SUM ₂₂₋₂₄	0,54954
SUM ₂₂₋₂₄	0,12940

Таблиця 3.9 – Значення мір точності прогнозу

MSE	RMSE	MAD	RMSPE	MAPE
0,0105	0,1025	0,0891	20,7688	18,3179

Значення RMSPE (табл. 3.9) потрапляє в діапазон 20% – 40%, що означає, що точність прогнозу задовільна. А значення MAPE потрапляє в діапазон 10% – 20%, що означає, що точність прогнозу добра.



Рисунок 3.5 – Графік прогнозу викидів оксиду вуглецю

Можемо зробити висновок, що по прогнозам викиди оксиду вуглецю мають тенденцію до збільшення (рис. 3.5).

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі було зроблено наступне:

- Спочатку були зібрані дані викидів забруднювальних речовин за 2020 – 2021 роки.
- Проаналізувавши вихідні дані дійшли висновку, що необхідно розрахувати середньомісячні дані.
- Наступний крок був відновити відсутні дані за допомогою методу апроксимації.
- Потім побудували трендові моделі та використовуючи метод серій вибрали ту, яка найкраще описує початкові дані.
- Використовуючи параболічну модель спрогнозували викиди оксиду вуглецю на 2022 рік.
- Аналізуючи прогноз, можемо сказати що тенденція викидів оксиду вуглецю йде на збільшення. Але якщо порівнювати їх з середньодобовою ГДК, то можемо сказати що викиди оксиду вуглецю не перевищують норму. Також нам потрібно врахувати, що для аналізу ми обрали дані за 2020 – 2021 роки, коли почався COVID-19 та велика кількість підприємств не працювали, або працювали з обмеженнями, що могло стати наслідком зменшення концентрації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стан довкілля в Запорізькій області. Інформаційно-аналітичний огляд [Текст] / за ред. Левченко І. – Запоріжжя: ЗОДА, 2021. – 16 с.
2. **Петросян, А. А.** Використання оцінки ризику при управлінні якістю повітря та збереженні громадського здоров'я [Текст] / А. А. Петросян // Довкілля та здоров'я. – 2016 – № 2. – С. 47–50.
3. **Петросян, А. А.** Аналіз міжнародних законодавчих документів, які регулюють якість атмосферного повітря [Текст] / А. А. Петросян // Медичні перспективи – 2016.– т. 21, № 1.– С.130–133.
4. **Мах В.** Промислова Україна: Вплив забруднення на населення та навколишнє середовище в п'яти промислових містах України [Текст] / В. Мах, М. Шир, М. Сорока. – Київ – Прага, 2018. – 48 с.
5. **Дубовіч, І.А.** Еколого-економічні засади охорони та використання атмосферного повітря в Україні [Текст] / І. А. Дубовіч // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – № 24 (7). – С. 121–127.
6. **Білецька, Е.М.** Металургійні підприємства як джерело забруднення атмосферного повітря та фактор ризику погіршення здоров'я населення [Текст] / Е.М. Білецька, Н.М. Онул, В.І. Ніконенко // Медичні перспективи, – 3 ч.1. – С. 17–22.
7. **Мироненко, С. Г.** Екологія міста Полтави: якість атмосферного повітря [Текст] / С. Г. Мироненко // Вісник проблем біології і медицини. – 2014 – №. 3(1) – С. 222–224.
8. **Турос О. І.** Аналіз ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря промисловими підприємствами м. Запоріжжя [Текст] / О. І. Турос// Медичні перспективи – 2008. – Т. 13. – № 1. – С. 93–97.
9. **Задачин В. М.** Чисельні методи [Текст] : навчальний посібник / В.М. Задачин, І.Г. Конюшенко. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 180 с.

10. **Єріна, А. М.** Статистичне моделювання та прогнозування [Текст] : навч. Посібник / А. М, Єріна. – К.: КНЕУ, 2001. – 170 с.

Таблиця А.2 – Дані за лютий 2020 року

Число	Домішки								
	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формаль-дегід
1									
2									
3	0,5	0,1	0,3	1,5	0,0	1,9	0,0	0,1	0,0
4	0,5	0,1	0,3	1,7	0,0	1,8	0,0	0,2	0,0
5	0,5	0,1	0,4	1,8	0,0	2,2	0,2	0,2	0,0
6	0,5	0,2	0,4	2,5	0,0	3,0	0,1	0,2	0,0
7	0,8	0,2	0,4	2,0	0,0	2,9	0,2	0,3	0,0
8	0,8	0,2	0,3	1,9	0,0	2,6	0,3	0,4	0,0
9									
10	0,4	0,1	0,3	1,5		1,7	0,0	0,2	
11	0,7	0,1	0,3	1,5		1,5	0,0	0,2	
12	0,6	0,1	0,3	1,6		2,1	0,0	0,1	
13	0,7	0,2	0,3	1,9	1,0	2,3	0,2	0,2	1,4
14	0,6	0,1	0,4	1,7	0,8	1,8	0,0	0,1	1,5
15	0,7	0,2	0,4	1,6	0,9	1,7	0,0	0,1	1,3
16									
17	0,4	0,1	0,3	1,6	0,5	1,6	0,0	0,1	1,3
18	0,7	0,1	0,4	1,2	0,5	1,9	0,0	0,1	0,9
19	0,9	0,1	0,6	1,8	1,1	2,2	0,1	0,2	1,3
20	0,7	0,2	0,4	2,4	1,2	2,9	0,2	0,2	1,7
21	0,9	0,2	0,5	2,4	1,3	2,5	0,2	0,2	1,9
22	0,9	0,1	0,7	1,5	1,1	2,3	0,2	0,2	1,9
23									
24	0,6	0,1	0,3	1,4	0,5	1,7	0,0	0,2	1,5
25	0,5	0,1	0,3	1,4	0,7	1,8	0,0	0,2	0,2
26	0,7	0,1	0,3	1,4	1,0	1,8	0,1	0,1	1,4
27	1,5	0,2	0,5	1,8	0,9	2,5	0,1	0,1	1,2
28	1,1	0,2	0,6	1,7	0,7	2,2	0,2	0,2	1,4
29	0,7	0,2	0,5	1,6	0,7	1,7	0,2	0,2	1,8

Таблиця А.3 – Дані за березень 2020 року

Число	Домішки								
	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формаль-дегід
1									
2	0,7	0,1	0,5	1,4	0,7	2,3	0,2	0,2	2,3
3	1,0	0,1	0,6	1,4	0,8	1,8	0,2	0,2	1,5
4	0,8	0,1	0,3	1,1	0,7	1,3	0,1	0,2	1,3
5	1,0	0,1	0,3	1,3	0,7	1,4	0,0	0,1	1,4
6	1,0	0,1	0,3	1,4	0,8	1,6	0,0	0,2	1,4
7	0,7	0,1	0,3	1,8	0,9	2,3	0,0	0,2	1,1
8									
9									
10	0,8	0,1	0,3	1,6	0,8	2,3	0,0	0,2	1,5
11	0,7	0,1	0,3	1,5	0,7	1,8	0,0	0,2	1,1
12	1,1	0,1	0,3	1,3	0,6	1,6	0,1	0,2	1,2
13	0,6	0,2	0,4	1,5	0,9	1,9	0,0	0,1	1,9
14	0,5	0,1	0,3	1,4	0,6	2,3	0,1	0,2	2,0
15									
16	0,7	0,1	0,3	1,6	0,8	2,0	0,1	0,1	1,3
17	1,1	0,1	0,4	1,9	0,9	1,5	0,1	0,2	2,4
18	1,3	0,2	0,5	2,3	1,2	2,7	0,3	0,2	2,6
19	1,1	0,1	0,4	2,2	1,1	2,5	0,2	0,2	1,6
20	0,6	0,1	0,3	1,3	0,9	2,0	0,1	0,2	1,2
21	1,4	0,2	0,6	1,7	0,8	1,8	0,2	0,2	1,4
22									
23	1,0	0,2	0,3	2,8	1,1	2,6	0,2	0,3	2,7
24	0,5	0,2	0,3	2,8	1,0	2,4	0,3	0,2	1,8
25	0,3	0,2	0,5	2,8	1,2	3,1	0,2	0,2	2,0
26	0,7	0,2	0,6	2,1	0,9	2,3	0,1	0,2	1,7
27	1,1	0,2	0,4	1,9	1,1	1,9	0,2	0,2	1,7
28	0,7	0,2	0,3	1,8	0,9	1,7	0,0	0,2	1,4
29									
30	1,4	0,2	0,5	1,6	0,9	1,7	0,3	0,2	1,8
31	1,5	0,2	0,4	1,9	1,1	2,5	0,2	0,2	2,0

Таблиця А.4 – Дані за квітень 2020 року

Число	Домішки								
	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формаль-дегід
1	0,7	0,2	0,3	1,5	0,9	1,7	0,0	0,2	1,4
2	1,1	0,2	0,4	1,7	0,8	1,6	0,0	0,1	1,6
3	1,2	0,1	0,5	1,5	0,7	2,0	0,0	0,1	1,1
4	1,3	0,1	0,4	1,3	0,8	1,8	0,0	0,2	1,3
5									
6	0,7	0,1	0,4	2,0	0,7	2,5	0,0	0,2	1,6
7	0,6	0,1	0,3	2,5	1,2	3,1	0,1	0,2	0,9
8	0,7	0,1	0,3	1,5	0,7	2,0	0,0	0,2	0,8
9	1,1	0,1	0,3	2,2	0,9	2,5	0,2	0,2	0,8
10	1	0,1	0,4	2,2	1,2	2,4	0,2	0,2	1,8
11	0,5	0,1	0,4	1,6	0,9	1,7	0,1	0,2	2
12									
13	0,7	0,1	0,3	1,5	0,7	1,8	0,0	0,2	0,9
14	0,7	0,1	0,3	1,5	0,9	1,7	0,0	0,2	0,7
15	1,1	0,2	0,4	2,5	1,2	2,8	0,03	0,2	1,6
16	0,7	0,2	0,3	1,9	0,9	2,3	0,03	0,2	1,2
17	0,7	0,2	0,4	2,0	1,0	2,2	0,04	0,2	1,6
18	0,7	0,2	0,7	3,0	1,4	3,2	0,2	0,3	2,1
19									
20									
21	1,2	0,2	0,3	2,8	0,9	2,9	0,2	0,4	1,3
22	1,2	0,1	0,3	2,8	1,0	3,0	0,1	0,3	1,5
23	0,7	0,2	0,3	3,0	1,2	2,6	0,1	0,2	2,0
24	0,5	0,2	0,3	1,9	0,8	2,0	0,1	0,3	0,9
25	0,7	0,2	0,3	1,9	0,9	2,0	0,1	0,4	1,0
26									
27	0,6	0,2	0,3	1,5	0,8	1,6	0,03	0,3	0,9
28	0,2	0,1	0,3	1,9	0,7	1,5	0,0	0,3	0,8
29	0,7	0,1	0,3	1,2	0,5	1,3	0,0	0,2	0,8
30	0,2	0,2	0,4	1,6	0,6	1,9	0,06	0,2	0,8

Таблиця А.6 – Дані за червень 2020 року

Число	Домішки								
	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формаль-дегід
1	0,4	0,1	0,4	1,5	0,8	2,1	0,1	0,2	2,1
2	0,3	0,1	0,4	1,5	0,8	1,7	0,1	0,1	1,4
3	0,6	0,1	0,3	1,3	1,0	2,1	0,1	0,2	1,4
4	0,2	0,1	0,4	1,8	0,9	2,3	0,2	0,2	2,2
5	0,1	0,1	0,3	1,2	0,7	1,5	0,0	0,1	1,4
6	0,7	0,1	0,4	1,2	0,7	2,1	0,0	0,1	1,2
7									
8									
9	0,7	0,1	0,5	1,7	1,0	1,9	0,2	0,2	1,5
10	0,7	0,1	0,3	2,4	1,2	2,2	0,2	0,2	3,4
11	0,7	0,1	0,3	2,0	1,0	2,1	0,2	0,2	2,3
12	0,5	0,1	0,3	2,1	1,1	2,4	0,2	0,2	2,4
13	0,5	0,1	0,5	1,6	0,8	2,0	0,2	0,2	1,7
14									
15	0,7	0,2	0,5	1,8	0,9	2,4	0,20	0,2	2,3
16	0,7	0,1	0,4	1,7	0,9	2,1	0,1	0,1	1,3
17	0,9	0,1	0,5	1,7	0,6	1,5	0,2	0,1	2,0
18	0,3	0,2	0,7	2,1	1,2	2,7	0,3	0,2	1,7
19	0,5	0,1	0,5	1,7	1,0	2,0	0,4	0,2	2,9
20	0,1	0,1	0,5	2,0	0,8	1,7	0,2	0,2	1,6
21									
22	0,6	0,1	0,3	1,3	0,7	2,3	0,2	0,1	2,0
23	0,4	0,1	0,3	2,1	0,8	1,9	0,2	0,1	1,5
24	0,7	0,1	0,3	1,7	0,9	2,1	0,4	0,2	2,3
25	1,1	0,2	0,4	2,3	0,9	2,7	0,3	0,2	2,9
26	0,5	0,2	0,4	2,5	0,9	2,4	0,3	0,2	2,1
27	0,5	0,2	0,3	2,1	1,0	1,8	0,2	0,2	2,1
28									
29									
30	0,4	0,1	0,3	1,8	0,9	2,7	0,2	0,1	2,1

Таблиця А.17 – Дані за травень 2021 року

Число	Домішки								
	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формаль-дегід
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11	1,1	0,2	0,6	1,4	0,8	2,9	0,3	0,2	2,5
12	0,9	0,2	0,6	1,7	1,0	2,2	0,1	0,2	2,0
13	0,9	0,2	0,4	1,9	0,7	1,8	0,0	0,2	1,8
14	1,1	0,2	0,5	1,9	1,0	2,7	0,1	0,3	1,9
15	0,9	0,2	0,5	1,7	0,7	2,4	0,2	0,2	2,3
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31	1,0	0,1	0,3	1,7	0,8	1,7		0,2	2,6

Таблиця А.21 – Дані за вересень 2021 року

Число	Домішки								
	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формаль-дегід
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13	1,2	0,2	0,7	2,0	0,9	1,9	0,1	0,3	1,7
14	1,2	0,2	0,5	1,9	0,7	2,0	0,2	0,3	1,2
15	0,9	0,2	0,3	2,1	0,9	2,8	0,1	0,3	1,4
16	0,8	0,2	0,3	2,3	1,1	3,0	0,2	0,2	2,0
17	1,1	0,2	0,3	1,6	0,8	2,2	0,1	0,2	1,4
18	0,7	0,2	0,3	1,5	0,8	1,9	0,0	0,2	0,8
19									
20	0,8	0,2	0,3	1,7	0,9	2,0	0,0	0,2	1,1
21	0,7	0,2	0,3	1,5	0,7	2,0	0,0	0,2	1,6
22	0,9	0,1	0,3	1,7	0,7	2,1	0,1	0,2	1,9
23	0,8	0,1	0,3	1,7	0,6	1,6	0,0	0,2	2,0
24	0,7	0,1	0,3	1,7	0,8	1,9	0,0	0,2	1,7
25	0,7	0,1	0,3	1,7	0,8	1,8	0,0	0,2	1,6
26									
27	1,0	0,1	0,3	1,8	0,8	2,0	0,0	0,2	1,5
28	0,7	0,2	0,3	2,2	1,1	2,4	0,1	0,2	1,5
29	0,9	0,2	0,4	2,3	1,3	2,3	0,2	0,3	1,7
30	0,7	0,2	0,6	2,2	1,2	2,6	0,2	0,3	1,9

Таблиця А.23 – Дані за листопад 2021 року

Число	Домішки								
	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формаль-дегід
1	0,8	0,2	0,5	2,0	0,8	2,3	0,1	0,2	1,8
2	0,5	0,1	0,3	1,7	0,7	2,0	0,0	0,1	1,7
3	0,4	0,1	0,3	1,7	0,7	1,8	0,0	0,1	1,5
4	0,3	0,1	0,3	1,6	0,9	2,0	0,0	0,1	1,5
5	0,5	0,1	0,3	1,6	0,6	1,6	0,0	0,1	1,3
6	0,7	0,1	0,3	1,5	0,6	1,8	0,0	0,1	1,2
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15	0,9	0,2	0,5	1,9	0,7	2,3	0,2	0,3	1,8
16	0,9	0,2	0,5	1,9	0,6	2,2	0,2	0,2	1,4
17	0,9	0,2	0,7	1,9	0,6	2,1	0,2	0,2	1,3
18	0,7	0,2	0,4	1,4	0,5	1,6	0,0	0,2	0,8
19	0,9	0,1	0,5	1,3	0,5	1,9	0,1	0,1	0,8
20	0,9	0,1	0,4	1,6	0,7	1,6	0,0	0,2	1,2
21									
22	0,1	0,0	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,2	0,0	1,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,1	0,0	1,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,1	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,1	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,1	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28									
29	0,7	0,1	0,3	1,4	0,7	1,6	0	0,1	1,4
30	0,8	0,1	0,5	1,3	0,6	1,8	0,0	0,1	1,6

ДОДАТОК Б

Код програмної реалізації знаходження апроксимаційного многочлена

Вміст файлу poly.m

```
function poly
x = [4, 10, 16, 22]
y = [0.36, 0.38, 0.43, 0.45]
p3 = polyfit(x,y,3)
y3 = polyval(p3, x)
err = 1/5*sum((y-y3).^2)
end
```

Вміст файлу f.m

```
function y=f(x)
y = -0.000046296296296*x.^3 + 0.001805555555556*x.^2 -
0.0147222222222227*x + 0.392962962962963;
end
```