

УДК 504.3.054  
КП XXXXXX  
№ держреєстрації 0114U006583  
Інв. №

Міністерство освіти і науки України  
Одеський державний екологічний університет  
(ОДЕКУ)  
65016 м. Одеса, віл. Львівська 15  
Тел. (048) 785-27-14

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з НР ОДЕКУ  
д.геогр.н., професор  
\_\_\_\_\_ Гучковенко Ю.С.

ЗВІТ  
про науково-дослідну роботу  
**«Адаптація моделі планування полів концентрації  
забруднюючих речовин у атмосферному  
повітрі м. Одеса»**  
(заключний)

Науковий керівник НДР,  
зав. кафедрою  
екологічного права і контролю,  
д.геогр.н., професор

Лосєва І.Д.

Рукопис закінчено 01.12.2015р.  
Результати цієї роботи розглянуто науково-технічною радою  
ОДЕКУ, протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2015р.

2015



## РЕФЕРАТ

Звіт по НДР складає 79 стор., 119 нормативно-правових актів з охорони атмосферного повітря, 20 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – атмосферне повітря м. Одеса

Мета роботи – аналіз рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса діоксидом сірки та діоксидом азоту за даними спостережень ГМЦ ЧАМ; розробка структури і програмного комплексу оптимального регулювання якості атмосферного повітря промислового міста; аналіз діючих національних і міжнародних нормативно-правових актів з охорони атмосферного повітря.

Методи дослідження – статистичний аналіз і методи регуляризації полів забруднення атмосферного повітря шляхом оптимізації режиму роботи промислових підприємств.

Результати роботи. За даними спостережень ГМЦ ЧАМ на КВП м. Одеса виконаний статистичний аналіз часових рядів  $\text{SO}_2$  та  $\text{NO}_2$  за період 2005-2011, 2013 рр. Проаналізовані просторові і часові закономірності розповсюдження шкідливої домішки. Побудована структура і розроблений програмний комплекс оптимізації полів забруднення атмосфери шляхом регулювання режиму роботи промислових джерел забруднення, проведений чисельний експеримент. Складений каталог діючих нормативно-правових актів національного і міжнародного рівня з питань охорони і використання атмосферного повітря, складено каталог джерел.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Результати науково-дослідної роботи можуть бути використані при розробці управлінських рішень щодо охорони атмосферного повітря, а також у навчальному процесі при підготовці студентів за спеціальністю «Екологія».

**АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АКТИ, ДІОКСИД СІРКИ, ДІОКСИД АЗОТУ, СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПОЛЯ ЗАБРУДНЕННЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ.**

Умови одержання звіту: за договором. Адреса ОДЕКУ: 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
1 ПОЛІТИКА УКРАЇНИ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ .....	7
1.1 Атмосферне повітря як природний ресурс .....	7
2 МЕТОДИКА СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ .....	10
2.1 Методика статистичного аналізу часових рядів забруднюючих речовин .....	10
2.1.1 Розрахунок основних статистичних характеристик .....	10
2.1.2 Оцінка однорідності часових рядів.....	12
2.1.3 Виявлення прихованих періодичностей.....	13
2.1.4 Згладжування часових рядів.....	16
3 СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ОДЕСА ДІОКСИДОМ СІРКИ .....	19
3.1 Характеристика вихідних даних .....	19
3.2 Просторово-часова однорідність стану забруднення атмосферного повітря .....	20
3.2.1 Просторова однорідність .....	20
3.2.2 Однорідність забруднення у річному розрізі.....	21
3.3 Статистичні характеристики рівня забруднення SO <sub>2</sub> атмосферного повітря м. Одеса .....	22
3.3.1 Просторово-часовий аналіз рівня забруднення.....	22
3.3.2 Статистичний аналіз забруднення атмосферного повітря м. Одеса .....	25
3.3.3 Аналіз рівня забруднення атмосферного повітря міста у річному розрізі.....	30
4 СТАН ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ м. ОДЕСА ДІОКСИДОМ АЗОТУ .....	37
5 ОПТИМАЛЬНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ВЕЛИКОМУ ПРОМИСЛОВОМУ МІСТІ.....	44
5.1 Алгоритм і структура програмного модуля планування полів концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі.....	44
5.2 Чисельний експеримент планування полів концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі м. Одеса .....	60
ВИСНОВКИ .....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	69
ДОДАТОК А .....	71

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГМЦ ЧАМ	–	Гідрометеорологічний центр Чорного і Азовського морів;
КВП	–	контрольно-вимірювальний пост;
МУЗ	–	метеорологічні умови забруднення;
НДР	–	науково-дослідна робота;
ОД	–	одиниця Добсона;
ОДЕКУ	–	Одеський державний екологічний університет;
ООН	–	Організація об'єднаних націй;
CO <sub>2</sub>	–	вуглекислий газ;
NO <sub>2</sub>	–	діоксид азоту;
SO <sub>2</sub>	–	діоксид сірки.

## ВСТУП

Атмосфера Землі – газова оболонка, завдяки якій можливе існування життя на планеті. У теперішній час швидкого розвитку промисловості, різноманітних хімічних і біотехнологій атмосферне повітря перебуває перед величезним антропогенним тиском. Щорічно до атмосфери потрапляє величезна купа забруднюючих речовин, що змінює хімічний склад повітря, приводить до негативних наслідків, які згодом відчуває усе живе на планеті, винятком не є й людина.

У життєдіяльності людини повітря є головною умовою існування. Без їжі людина може обходитись більше 4 тижнів, без води – не більше 3-5 днів, а без повітря – не більше 5 хвилин. Окрім того, нормальна життєдіяльність людини потребує повітря відповідної якості, а перевищення допустимого рівня забруднень негативно впливає на стан довкілля і здоров'я людини. Саме тому актуальність проблеми забруднення атмосфери планети Земля постійно зростає і на теперішній час стала однією з основних екологічних проблем [5,7,10,18].

Метою роботи НДР кафедри «Адаптація моделі планування полів концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі м. Одеса» є: аналіз діючих національних і міжнародних нормативно-правових актів з питань охорони і використання атмосферного повітря; дослідження зміни з часом рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси діоксидом сірки й азоту. Ці шкідливі домішки відносяться до переліку основних забруднюючих речовин, за якими здійснюється спостереження згідно національних програм. Дослідження проведено по даних спостережень на контрольно-вимірювальних постах ГМЦ ЧАМ за період 2005-2011 і 2013 рр.

Для прийняття управлінських рішень щодо антропогенного навантаження окремих підприємств при несприятливих прогнозах МУЗ повинна бути розроблена сучасна методика оцінки зв'язків параметрів атмосфери з інтенсивністю її забруднення викидами антропогенних джерел, насамперед промисловими підприємствами. Таким чином, існує необхідність постановки і впровадження питання планування екологічного стану атмосферного повітря міста в цілому, особливо при несприятливих для самоочищення повітря атмосферних умовах. Теоретичні засади методів забезпечення екологічної безпеки атмосферного повітря великого промислового міста розроблені І.Д. Лоевою [12]. На практиці такі методи частково реалізовані у м. Київ.

Згідно підходів, наведених у роботах [13,14] розроблена структура й побудована комп'ютерна програма оптимізації режиму роботи промислових підприємств при несприятливих погодних умовах для забезпечення екологічної безпеки атмосферного повітря промислового міста.

У Додатку наведено каталог діючих національних і міжнародних нормативно-правових актів України, які або безпосередньо стосуються охорони і використання атмосферного повітря, або містять в себе елементи, які пов'язані з охороною і/або використанням атмосферного повітря.

# 1 ПОЛІТИКА УКРАЇНИ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

## 1.1 Атмосферне повітря як природний ресурс

Атмосферне повітря – суміш газів основних, які мають майже незмінну концентрацію (азот, кисень, аргон) і багатьох домішок зі змінною концентрацією. Серед найбільш важливими є водяна пара, вуглекислий газ і озон. Концентрації цих газів мають велике значення, оскільки саме вони значно впливають на температурний режим атмосфери, поглинаючи теплову інфрачервону радіацію. Смуги поглинання цих газів мають різний характер. Водяна пара має дві основні смуги, які покривають майже весь інфрачервоної радіації за винятком «атмосферного вікна» (8-12 мкм). Вуглекислий газ має декілька вузьких поглинання, основна з них має центр біля 15,2 мкм. Смуга поглинання озону розташовується у «атмосферному вікні» водяної пари.

Озон відіграє ще одну дуже важливу роль. Вона полягає у тому, що цей газ є основним поглиначем жорсткої коротко хвилевої радіації Сонця. Саме тому до земної поверхні доходить лише незначна частина ультрафіолетового спектра сонячної радіації. Радіація довжиною хвилі менше 0,39 мкм поглинається озоносферою, яка характеризується максимальними значеннями концентрації озону і розташовується у стратосфері на висотах від 15 до 70 км. Концентрація озону в атмосфері не є сталою. Якщо середнє її значення складає 300 Одиниць Добсона (ОД), то у високих широтах обох півкуль вона може на деякій зменшуватися над значними територіями до 90 ОД. Ці області озоносфери називають «озоновими дірами». Таке значне зменшення озону є дуже небезпечним, оскільки поглинальна здатність озону залежить від його концентрації. Основною причиною утворення «озонових дірок» є, як показують дослідження [16], періодичне зменшення інтенсивності меридіональної складової циркуляції повітря в стратосфері, що приводить до зменшення переносу у високі широти озону із зон його накопичування, які розташовуються у тропічних широтах. Але є припущення, що ще одним чинником зменшення озонного шару є реакція озону з сполуками, які утримають хлор й інші активні речовини (фреони). Ці речовини мають широке застосування у аерозолях різних призначень, хладореагентах тощо. Вимірювання вмісту фреонів в атмосфері показали, що їх щорічний приріст у семі десятих роках минулого століття складав 13-15%. Крім фреонів в атмосфері є й інші озоноруйнуючі сполуки, у склад яких входить бром і йод. Джерела їх потрапляння у атмосферу антропогенні і природні. Галагеновмістні речовини потрапляють в атмосферу в результаті вулканічної діяльності. Крім того, вони утримаються в стратосферних хмарах (перламутрових і сріблястих), які виникають часто у високих широтах. Що стосується антропогенних джерел фреонів, то починаючи з 1977 р у результаті широкої компанії в засобах інформації проти застосування галагеновмістних речовин їх використання значно зменшалося.

Дуже важливу роль з точки зору температурного режиму відіграє

вуглекислий газ  $\text{CO}_2$ . Його іноді віднось до основних газів, тому що у цілому відхилення концентрації  $\text{CO}_2$  від середнього значення незначні. Але вуглекислий газ має значні часові і просторові варіації. Крім того, спостерігається постійне збільшення його концентрації в атмосфері вище 90 км за рахунок промислової діяльності. Тому є підстави до віднесення його до змінних газових складових атмосфери. Сучасна глобальна фоновая концентрація  $\text{CO}_2$  біля земної поверхні дорівнює  $334 \text{ млн}^{-1}$  (0,0334% по об'єму), а в індустріальних регіонах його концентрація може збільшуватися до  $500 \text{ млн}^{-1}$ .

З початку промислової революції за рахунок спалення вугілля, нафти та природного газу в атмосферу безперервно викидається вуглекислий газ антропогенного походження. За оцінками його антропогенне потрапляння складає від 50 до 75%.

Вуглекислий газ у атмосфері добре перемішаний. У нижньому 35-кілометровому шарі атмосфери інтервал змінювання концентрації  $\text{CO}_2$  відносно вузький – від  $180 \text{ млн}^{-1}$  до  $400 \text{ млн}^{-1}$ . Концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосфері різко зменшується вище 90 км, а на висоті 130 км складає усього  $18\text{-}28 \text{ млн}^{-1}$ .

Вуглекислий газ повністю прозорий для сонячної радіації, але інтенсивно поглинає теплове інфрачервоне випромінювання. Отже зростання вмісту  $\text{CO}_2$  в атмосфері повинно привести до збільшення температури повітря. Розрахунки показують, що зростання вмісту  $\text{CO}_2$  на 10% приведе до глобального нагрівання повітря на  $0,3^\circ\text{C}$ , а подвоєння концентрації вуглекислого газу – до збільшення рівноважної температури земної поверхні до  $2,39^\circ\text{C}$ . Існують і більш жорсткі сценарії глобального потепління клімату Землі.

У результаті антропогенної діяльності атмосфера забруднюється не тільки вуглекислим газом, а й іншими шкідливими домішками. Це оксиди сірки і азоту, формальдегід, метан, аміак, важкі метали та інші хімічні забруднювачі.

Вони небезпечні, по-перше, з точки зору життєдіяльності людини, а, по-друге, деякі з них приймають участь у створенні парникового ефекту в атмосферному повітрі.

Зазначені вище негативні наслідки антропогенної діяльності викликали занепокоєння вчених і урядових органів багатьох країн світу. В 1972 р. у Стокгольмі відбулася конференція ООН з проблем охорони навколишнього природного середовища, де були вперше визначені у відповідній Декларації міжнародно-правові принципи охорони навколишнього середовища. Вони у подальшому отримали розвиток в Декларації з навколишнього середовища, яка була прийнята учасниками конференції ООН в 1992 р. у Ріо-де-Жанейро.

В цьому документі були задекларовані декілька принципів, серед яких є: принцип охорони навколишнього середовища; принцип міжнародного співробітництва у сфері охорони довкілля; принцип невід'ємного суверенітету держав щодо своїх природних ресурсів; принцип ненашкодження навколишньому середовищу; принцип міжнародної відповідальності за шкоду, вчинену навколишньому середовищу; принцип недопустимості трансграничної шкоди й оцінки її екологічних наслідків; принцип сталого розвитку.

Велике значення для організації міжнародного співробітництва мали



прийняття Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (1992) та Киотського протоколу до цієї Конвенції (1999), до яких приєдналася й Україна.

Антропогенне забруднення атмосферного повітря здійснюється шляхом викидів в атмосферу небезпечних газів й шкідливих сполук стаціонарними та рухомими джерелами викидів головним у великих промислових регіонах та містах. Під дією турбулентності атмосфери, інтенсивність якої залежить від міри стійкості її граничного шару, шкідливі домішки накопичуються, переміщуються за часом, поширюються на атмосферу регіону й переносяться великомасштабними й мезомасштабними вітровими системами у інші регіони. Це, так званий, трансграничний перенос забруднюючих речовин. Оскільки в атмосфері над Україною велику повторюваність мають північно-західні переноси повітря, а на північному заході від країни розташовуються країни Європейського Союзу з розвинутою промисловою діяльністю і, як наслідок, з достатньо інтенсивними викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря, виміри інтенсивності трансграничного переносу в атмосфері шкідливих домішок мають для України велике значення при оцінці його внеску у загальне забруднення атмосфери регіонів України

## 2 МЕТОДИКА СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

### 2.1 Методика статистичного аналізу часових рядів забруднюючих речовин

#### 2.1.1 Розрахунок основних статистичних характеристик

Оскільки до часових рядів застосовуються статистичні методи обробки та аналізу, ці ряди повинні задовольняти вимогам, що впливають із умов, покладених в основу цих методів. Перш за все, кожний ряд повинний бути однорідним. Це означає, що всі члени статистичного ряду з визначеною імовірністю повинні належати до однієї генеральної сукупності, тобто підпорядковуватися визначеному закону розподілу.

Статистичний ряд (вибірка) – обмежена кількість випадкових величин, здобутих випадковим чином із генеральної сукупності. Тому статистичні ряди називають вибірками з генеральної сукупності. Вибірки випадкові та число їх безмежне. Задача дослідника полягає у тому, щоб за допомогою вибірки розрахувати деякі оцінки параметрів, котрі б вірогідно характеризували особливості генеральної сукупності. Із генеральної сукупності, як вже зазначалося, можливе мати безмежну кількість вибірок та на основі кожної здобути статистичні оцінки. Важливою ознакою ряду є його об'єм. "Об'єм" – кількість членів, що складають сукупність.

Вибірки характеризуються статистичними оцінками параметрів. Значення параметра генеральної сукупності, яке розраховують на основі вибірки називаються статистичною оцінкою цього параметра і позначають символом " $\wedge$ ".

Основні властивості випадкових величин характеризуються початковими ( $\nu$ ), центральними ( $\mu$ ) та основними ( $r$ ) моментами розподілу різних порядків [20].

Оцінка першого початкового моменту розподілу ( $\tilde{\nu}_1$ ) є оцінкою математичного сподівання ( $\tilde{m}_x$ ) і дорівнює середньому значенню ( $\bar{x}$ ) випадкової величини X:

$$\tilde{\nu}_1 = \tilde{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i, \quad (2.1)$$

де  $n$  – об'єм ряду;

$\tilde{x}_i$  – середнє значення випадкової величини на частковому інтервалі;

$m_i$  – інтервальні емпіричні частоти;

$k$  – кількість часткових інтервалів (градацій), знаходиться за формулою:

$$k = 5 \lg n, \quad (2.2)$$

Довжина часткового інтервалу ( $c$ ), знаходиться за формулою:

$$c = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}, \quad (2.3)$$

Значення випадкової величини  $X$  на середині кожного часткового інтервалу ( $\bar{X}_i$ ), знаходиться за формулою:

$$X_i = \frac{\tilde{x}_{i-1} + \tilde{x}_{i+1}}{2}, \quad (i=1, \bar{k}) \quad (2.4)$$

Статистична оцінка центрального моменту розподілу другого порядку на основі згрупованого ряду розраховується за формулою:

$$\mu_2 = \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i, \quad (2.5)$$

де  $\bar{x}$  – середнє значення часового ряду.

Статистична оцінка другого центрального моменту розподілу, що розраховується за формулою (2.5), є зсуненою оцінкою дисперсії. Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини  $X$  позначають  $S_x^2$  і розраховують за формулою:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i, \quad (2.6)$$

Статистична оцінка середнього квадратичного відхилу розраховується за формулою:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}, \quad (2.7)$$

Оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої розподілу інтервальних частот (або частот) і називається коефіцієнтом асиметрії ( $As$ ):

$$As = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{(\tilde{x}_i - \bar{x})^3 m_i}{S_x^3}, \quad (2.8)$$

Крива розподілу має правосторонню асиметрію якщо  $As > 0$  і лівосторонню – якщо  $As < 0$ . Вона є симетричною відносно центру розподілу, якщо  $As = 0$ . Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою нормального розподілу, може бути витягнутою або сплюсненою. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу  $E$ :

$$E = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{(\tilde{x}_i - \bar{x})^4 m_i}{S_x^4} \right) - 3. \quad (2.9)$$

### 2.1.2 Оцінка однорідності часових рядів

Випадкові величини, у тому числі й екологічні параметри стану природного середовища, не завжди підпорядковуються нормальному закону розподілу. Якщо випадкові величини не підлягають нормальному розподілу або якщо невідомо до якого закону розподілу відноситься випадкова величина, для оцінки однорідності часових рядів вживаються непараметричні критерії. Одним з таких критеріїв є критерій Вілкоксона [20]. Критерій Вілкоксона буває двох видів: інверсійний та ранговий.

Нехай є дві вибірки  $X$  і  $Y$ . Випадкові величини, що належать до вибірок  $X$  і  $Y$  розташовують у загальній послідовності у порядку збільшення (або зменшення) їх значень, наприклад у виді:

$$y_1 x_1 y_2 y_3 x_2 x_3 y_4 y_5 y_6 x_4 x_5, \quad (2.10)$$

Якщо якому-небудь значенню  $X$  передує деяке значення  $Y$ , то ця пара утворює інверсію. Відомо, що в однорідних рядах, кожний з котрих має не менше 10 членів, число інверсій розподіляється приблизно за нормальним законом з математичним сподіванням:

$$m_u = \frac{mn}{2}, \quad (2.11)$$

і дисперсією

$$\delta_u^2 = \frac{mn}{12} (m + n + 1), \quad (2.12)$$

де  $n$  і  $m$  – число членів першій та другій вибірки.

У якості нульової гіпотези  $H_0$  приймемо гіпотезу про належність вибірок  $X$  і  $Y$  до однієї генеральної сукупності. Необхідно знайти границі допустимих значень  $U$ , що відділяють область прийняття гіпотези від критичної області. Це роблять шляхом установлення рівня значущості  $\alpha$  або довірчої ймовірності  $p = 1 - \alpha$ . Якщо значення критерію, яке отримане за даними спостережень, попаде до критичної області, то нульова гіпотеза відхиляється й з імовірністю  $p$

приймається альтернативна гіпотеза [20].

Область прийняття гіпотези  $H_0$  визначається нерівністю:

$$m_u - t_{kp}(\alpha, \nu)\delta_u \leq U \leq m_u + t_{kp}(\alpha, \nu)\delta_u, \quad (2.13)$$

а критична область – нерівностями:

$$U < m_u - t_{kp}(\alpha, \nu)\delta_u \quad (2.14)$$

$$U > m_u + t_{kp}(\alpha, \nu)\delta_u. \quad (2.15)$$

У нерівностях  $\delta_u = \sqrt{\delta_u^2}$  – середній квадратичний відхил числа інверсій;  $t_{kp}(\alpha, \nu)$  – критерій Стьюдента для рівня значущості  $\alpha$  і числа ступенів волі  $\nu = m + n - 2$ .

Критерій однорідності Вілкоксона відповідає задачі порівняння тільки двох вибірок. Але він може вживатися для попарного порівняння вибірок в  $N$  пунктах спостережень деякого регіону.

### 2.1.3 Виявлення прихованих періодичностей

Як показали численні дослідження, часові ряди концентрацій забруднюючих атмосферу речовин, містять періодичні компоненти, обумовлені хвильовою природою атмосферних процесів. Існує ряд методів дослідження прихованих періодичностей. Найбільш зручним для реалізації є метод, заснований на інтегральному перетворенні Фур'є. Він дозволяє без будь-яких додаткових досліджень одержати частоти, амплітуди і початкові фази періодичних компонентів, що містяться в часовому ряді. Часовий ряд  $q(t)$  концентрації інгредієнта, заданий на відрізку  $t \in [-\tau, \tau]$ , можна розглядати як кусково-гладку функцію часу [6]. Таку функцію відповідно до теореми Діріхле можна представити суперпозицією гармонік:

$$q(t) = \sum_{k=1}^N A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (2.16)$$

де  $A_k$  – амплітуда  $k$ -тої гармоніки;

$\omega_k$  – частота  $k$ -тої гармоніки;

$\varphi_k$  – початкова фаза.

Рівняння (2.16) може бути переписано у вигляді:

$$q(t) = \sum_{k=1}^N [a_k \cos \omega_k + b_k \sin \omega_k t], \quad (2.17)$$

Якщо позначити

$$a_k = A_k \sin \varphi_k, \quad (2.18)$$

$$b_k = A_k \cos \varphi_k. \quad (2.19)$$

З рівнянь (2.18) і (2.19) випливає, зокрема, що:

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \frac{a_k}{b_k}. \quad (2.20)$$

Для кусково-гладкої функції  $q(t)$ , визначеної на нескінченному інтервалі, справедливе перетворення Фур'є:

$$F(j, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} q(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (2.21)$$

Оскільки часовий ряд концентрації інгредієнта визначений на кінцевому інтервалі, його можна апроксимувати наступним чином:

$$q(t) = \begin{cases} q(t), & \text{при } t \in [-\tau, \tau] \\ 0, & \text{при } |t| > \tau \end{cases}. \quad (2.22)$$

Для такої функції інтеграл Фур'є має вигляд:

$$F_\tau(j, \omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} q(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (2.23)$$

Якщо використовувати відому формулу Ейлера, то інтеграл (2.23) можна представити у вигляді:

$$F_\tau(j\omega) = u(\omega) - jv(\omega), \quad (2.24)$$

$$u(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} q(t) \cos \omega t dt, \quad (2.25)$$

$$v(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} q(t) \sin \omega t dt. \quad (2.26)$$

Рівняння (2.25) і (2.26) є відповідно косинус- і синус- перетворенням Фур'є функції  $q(t)$ , апроксимованої виразом (2.23).

Якщо частоти гармонійних компонентів, які містяться в  $q(t)$ , не занадто близькі, то  $v(\omega)$  і  $u(\omega)$  являють собою криві з різко вираженими піками в точці  $\omega = \omega_k$ . Висота піків приблизно дорівнює амплітудам парної  $a_k$  і непарної  $b_k$  складових періодичного коливання з частотою  $\omega_k$ , прихованого в процесі  $q(t)$ .

На тих же частотах  $\omega_k$  будуть спостерігатися піки амплітуд  $A_k = A(\omega_k)$ , оскільки  $a_k \approx u(\omega)$ , а  $b_k \approx v(\omega)$  і

$$A(\omega_k) = [u^2(\omega_k) + v^2(\omega_k)]^{1/2}. \quad (2.27)$$

Для поліпшення селективності перетворень (2.25) і (2.26) можливо ввести множники Гіббса, які зменшують вплив значень  $q(t)$ , заданих поблизу меж інтервалу визначення функції. Таким чином, селективні перетворення набувають наступного вигляду:

$$u(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \pi t / \tau}{2t / \tau} q(t) \cos \omega t dt, \quad (2.28)$$

$$v(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \pi t / \tau}{2t / \tau} q(t) \sin \omega t dt. \quad (2.29)$$

Інтервали (2.28) і (2.29) обчислювалися методом прямокутників, для чого відрізок  $[-\tau, \tau]$  розбивався на  $N = 2m + 1$  точок, у кожній з яких повинно бути відоме значення досліджуваної функції. Через обмеженість інтервалу і кінцевого числа точок завдання функції, наявної інформації виявляється недостатньо для визначення параметрів гармонік з періодом  $T > 2\tau$  і  $T < \tau/m$ . Отже, мінімально і максимально можливі гармоніки, які можуть бути виявлені, мають частоти розташовані в інтервалі  $(\omega_{\min}, \omega_{\max})$ , де  $\omega_{\min} = \pi/\tau$ ,  $\omega_{\max} = m\pi/\tau$ .

Інтервал дискретності  $\Delta\omega$  при числовому інтегруванні необхідно вибирати з урахуванням властивостей множників Гіббса. При їх введенні в селективні перетворення можна гарантувати, що вплив амплітуд сусідніх за частотою гармонік не перевершує 0,05 від амплітуди, якщо  $\Delta\omega\tau \geq 4,5$  [17].

Звідси випливає, що крок при обчисленні  $u(\omega)$  і  $v(\omega)$  визначається рівністю:

$$\Delta\omega = \frac{4,5}{\tau}. \quad (2.30)$$

Періодичності, що містяться у часовому ряді  $q(t)$ , визначаються по піках амплітуд  $A(\omega)$  на періодограмі (амплітудно-частотній характеристиці). Останні звичайно містять ряд малозабезпечених піків, що утруднюють аналіз. Для їхнього усунення застосовується відомий фільтр Тьюккі [17]:

$$\bar{A}(\omega_i) = 0,25A(\omega_{i-1}) + 0,5A(\omega_i) + 0,25A(\omega_{i+1}). \quad (2.31)$$

Для визначення періодичностей, характерних для досліджуваного процесу, будується верхня довірча границя для амплітуди з заданою

імовірністю. Періоди  $T_k$  гармонік  $\omega_k$ , які відповідають пікам амплітуд, що виходять за довірчу границю, ототожнюються з періодом гармонійних коливань, які містяться в процесі  $q(t)$ . Для кожної з них знаходиться початкова фаза за формулою:

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \frac{u_k}{v_k}. \quad (2.32)$$

По початковій фазі можна знайти точку  $h_k$  на осі часу, що є початком коливання. Для цього використовується формула:

$$h_k = \begin{cases} \frac{(\pi + \varphi_k)T_k}{2\pi}, & \text{при } \varphi_k \leq 0 \\ \frac{\varphi_k T_k}{2\pi}, & \text{при } \varphi_k > 0 \end{cases}. \quad (2.33)$$

#### 2.1.4 Згладжування часових рядів

Часовий ряд концентрацій інгредієнтів являє собою реалізацію нестационарного випадкового процесу  $q(t)$ . Він може розглядатися як сума детермінованої і випадкової компонент. У свою чергу, детермінована компонента  $\bar{q}(t)$  складається з трендів  $q_1(t)$  і періодичних складових  $q_2(t)$ , що характеризує, в залежності від інтервалу дискретності часового ряду віковий, річний чи добовий хід досліджуваного процесу. Таким чином:

$$q(t) = q_1(t) + q_2(t) + q_3(t). \quad (2.34)$$

При правильному виділенні детермінованої основи  $\bar{q}(t)$  випадкові компоненти  $q_3(t)$  можуть розглядатися як стаціонарні випадкові прирости. Детермінована основа процесу виділяється шляхом фільтрації чи згладжування вихідного часового ряду. Позначимо оператор згладжування через  $D$  і застосуємо його до рівності (2.34)

$$D[q(t)] = D[q_1(t)] + D[q_2(t)] + D[q_3(t)]. \quad (2.35)$$

Припустимо, що оператор  $D$  точно виділяє трендову компоненту, тобто:

$$D[q_1(t)] = q_1(t). \quad (2.36)$$



Якщо відняти з рівності (2.34) рівність (2.35), то одержимо:

$$q(t) - D[q(t)] = q_2(t) - D[q_2(t)] + q_3(t) - D[q_3(t)]. \quad (2.37)$$

Викликає інтерес питання про те, наскільки члени  $D[q_2(t)]$  і  $D[q_3(t)]$  можуть зіпсувати істинні коливання залишкового ряду (2.37) і індукувати неправильний коливальний рух. Припустимо, що фільтрація здійснюється за допомогою операції експоненціального згладжування, яка у загальному вигляді виражається формулою

$$q_1(t_0) = (1 - \alpha)^{t_0} q(0) + \alpha \sum_{k=0}^{t_0-1} (1 - \alpha)^k q(t_0 - k), \quad (2.38)$$

де  $\alpha$  – стала згладжування.

Оскільки  $0 \leq \alpha \leq 1$ , поточна оцінка функції що згладжується у момент  $t_0$  дорівнює лінійній комбінації значень у всіх точках заданого ряду від 0 до  $t$  з експоненціальне зменшеними від середини відрізка згладжування вагами.

Одним з видів експонентного згладжування є ковзне осереднення, яке можна представити у загальному вигляді:

$$q_1(t_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=k-\frac{n}{2}}^{k+\frac{n}{2}} \alpha_i q(t_i), \quad (2.39)$$

де  $\alpha_i$  – ваговий множник;

$n$  – число точок, по яких робиться згладжування;

$k = 1 + \frac{n}{2}, 2 + \frac{n}{2}, \dots, N' + \frac{n}{2}; N' = N + (n - 1); N$  – число членів досліджуваного ряду.

Якщо в рівнянні (2.27)  $\alpha_i = 1 \forall i = \overline{1, n}$ , то оператор згладжування визначає просте ковзне осереднення, яке не може бути віднесено до експоненціального згладжування, тому що основна вимога його – зменшення ваг до кінців відрізка згладжування, не виконується. Однак воно знаходить широке застосування.

Більш коректними є фільтри, що містять вагові множники тригонометричні

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-1)}{n}, \quad (2.40)$$

чи експоненціальні

$$\alpha_i = \exp \left[ -\frac{|k-1|}{n} \right], \quad (2.41)$$

Вони убувають за обумовленими рівняннями (2.40) і (2.41) законами від середини відрізка згладжування до його країв.

Крім вигляду вагового множника, результат фільтрації залежить від числа точок ( $n$ ), по яких виконується згладжування:

$$n = \frac{\tau}{\Delta t}, \quad (2.42)$$

де  $\tau$  – півдовжина відрізка згладжування на осі часу;

$\Delta t$  – інтервал дискретності ряду.

Число точок, за якими проводиться згладжування випадкового процесу, повинно бути досить великим –  $6 < n < 200$ . Чим менше  $n$ , тим швидше реакція фільтра, але тим гірше його фільтруючі якості, і навпаки. Отже, завдання полягає у правильному виборі періоду осереднення. Однак обґрунтованих рекомендацій щодо вибору довжини відрізка згладжування не існує. Питання щодо вибору періоду ковзного осереднення часового ряду однак, не є тривіальним. При занадто великому періоді згладжування з детермінованої основи  $\bar{q}(t)$  відфільтрується певна частина періодичних компонент, що перейдуть до випадкової компоненти, спотворюючи її. Навпаки, якщо період осереднення малий, то частина випадкової компоненти переходить до складової  $\bar{q}(t)$ , а випадкова компонента  $q_3(t)$  набуває властивості "білого шуму".

## 3 СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ОДЕСА ДІОКСИДОМ СІРКИ

### 3.1 Характеристика вихідних даних

Для статистичного аналізу рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси використовувалися середньодобові значення концентрації діоксиду сірки, які розраховані за даними вимірів на восьми контрольно-вимірювальних постів (КВП) м. Одеса, які розташовані у різних районах міста (рис. 3.1).

Пост №8 розташований у прибережній зоні моря на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів на значній відстані від промислових підприємств та автошляхів. Тому значення концентрацій забруднюючих речовин, які вимірюються на цьому пості, можна вважати фоновими. Пости № 10, 15, 17 розташовані у північній та північно-західній частинах міста (вул. Чорноморського козацтва – №10, Херсонський сквер – №15, автовокзал – №17), де знаходяться основні джерела викидів небезпечних речовин: нафтопереробний, цементний, лакофарбувальний заводи та інші.

Пости № 16, 18, 19, 20 розташовані у районах міста, де спостерігається найбільший рух автотранспорту: ріг Олександрійського проспекту та вул. В. Арнаутської – №16, 1-а ст. Люстдорфської дороги – №19, вул. Балківська – №18, роза Італійського бульвару та вул. Канатної – № 20. Це райони, де немає значних промислових підприємств, але на цих вулицях спостерігається великий рух автотранспорту, особливо у час пік.

У якості вихідних даних були взяті середньодобові значення концентрації діоксиду сірки ( $\text{g}10^{-3}$ ) атмосферному повітрі по усіма 8 КВП. Середньодобові концентрації були отримані шляхом осереднення 4 строкових вимірів, які отримуються шляхом обробки стрічки газоаналізатору. Часові ряди були сформовані за даними 7 років (2005-2011).

Оскільки для статистичного аналізу потрібні дані з постійною дискретністю, тому коли були відсутні дані, розраховувалась середньодобова концентрація шляхом осереднення концентрації діоксиду сірки за попередній та наступний день, що і надало змогу отримати часові ряди з постійною дискретністю.

Сформовані часові ряди, які використані в роботі для кожного КВП міста складаються з 2556 значень (6 років x 365 днів + 1 рік x 366 днів).



Рисунок 3.1 – Розташування контрольно-вимірювальних постів у м. Одеса.

### 3.2 Просторово-часова однорідність стану забруднення атмосферного повітря

#### 3.2.1 Просторова однорідність

Для визначення однорідності використано критерій Вілкоксона, методика якого наведена у розділі 3.1.2. Результати розрахунків надані у табл.3.1.

Виходячи з наведених у табл. 3.1 критеріїв Вілкоксона можливо виділити наступні просторові райони.

До 1 району відноситься тільки КВП 8, який розташовано у прибережній частині міста, де немає суттєвих антропогенних джерел  $SO_2$ .

До району 2 відносяться КВП 10, 17, 19, 20. Пости 10 і 17 знаходяться у місці розташування значної кількості промислових об'єктів, які є основними антропогенними джерелами  $SO_2$ . Пости 19 і 20 розташовані на 1 ст. Люстдорфської дороги та на вул. Канатній відповідно, де спостерігається інтенсивний автомобільний рух.

До 3 району відносяться КВП 15, 16 та 18. Пости 16 та 18 розташовані у

містах найбільшого руху автотранспорту, а КВП 15 у місті скупчення великої кількості стаціонарних джерел викиду діоксиду сірки до атмосферного повітря.

Таблиця 3.1 – Просторова однорідність концентрації SO<sub>2</sub>  
(м. Одеса, 2005- 2011 рр.)

КВП	8	10	15	16	17	18	19	20
8	–	x	x	x	x	x	x	x
10	x	–	x	x	o	x	o	o
15	x	x	–	o	x	o	x	x
16	x	x	o	–	x	o	x	x
17	x	o	x	x	–	o	o	o
18	x	x	o	o	x	–	x	x
19	x	o	x	x	o	x	–	o
20	x	o	x	x	o	x	o	–

Примітка: x – вибірки належать до різних генеральних сукупностей;  
o – вибірки однорідні з вірогідністю 95%.

### 3.2.2 Однорідність забруднення у річному розрізі

Для визначення однорідності забруднення у річному розрізі було також використано критерій Вілкоксона, методика якого зазначена у розділі 3.2. У якості вибірок використовувалися значення середньодобових концентрацій діоксида сірки за період 2005-2011 роки. В табл. 3.2 наведені результати розрахунку часової однорідності по критерію Вілкоксона.

Таблиця 3.2 – Однорідність забруднення у річному розрізі  
(Одеса, 2005-2011 рр.)

місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	–	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o
2	x	–	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	x	o	–	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	–	o	o	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	o	–	o	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	o	o	–	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x	–	o	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x	x	o	–	x	x	x	x
9	o	x	x	x	x		x	x	–	o	o	o
10	o	x	x	x	x	x	x	x	x	–	o	o
11	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	–	o
12	o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	–

Примітка: x – вибірки належать до різних генеральних сукупностей;  
o – вибірки однорідні з вірогідністю 95%.

За даними табл. 3.2 можна виділити чотири часових періодів, а саме:

- період 1: вересень, жовтень, листопад, грудень, січень;
- період 2: лютий, березень;
- період 3: квітень, травень, червень;
- період 4: липень, серпень.

### 3.3 Статистичні характеристики рівня забруднення SO<sub>2</sub> атмосферного повітря м. Одеса

#### 3.3.1 Просторово-часовий аналіз рівня забруднення

Часові ряди концентрації шкідливих домішок атмосфери є реалізацією нестационарного випадкового процесу. Він може розглядатися як сума детермінованої і випадкової компоненти. Детермінована компонента складається з трендів  $q_1(t)$  і періодичних складових  $q_2(t)$ . За даними середньодобових концентрацій SO<sub>2</sub> побудовані часові ряди для кожного визначеного району міста і проведена процедура виявлення прихованих періодичностей як для окремих років так і для усього періоду (2005-2011 рр.). У табл.3.3 наведено результати розрахунків для окремих років з урахуванням просторової однорідності.

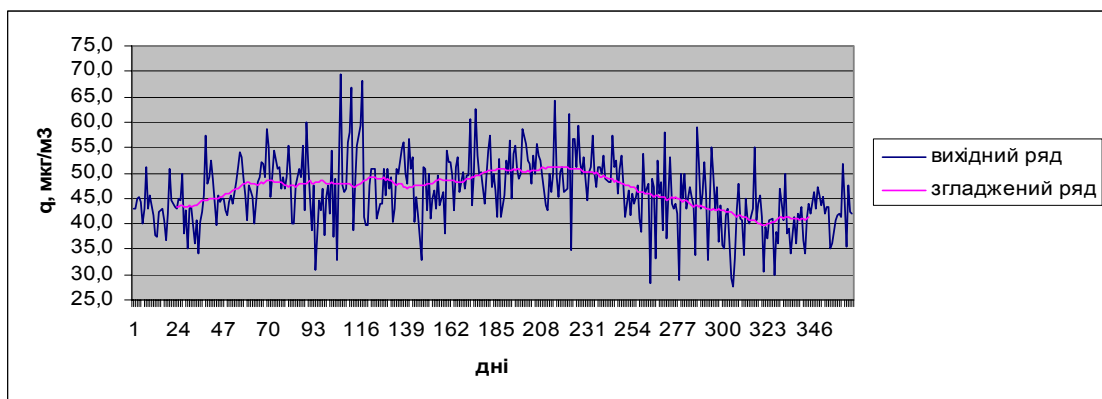
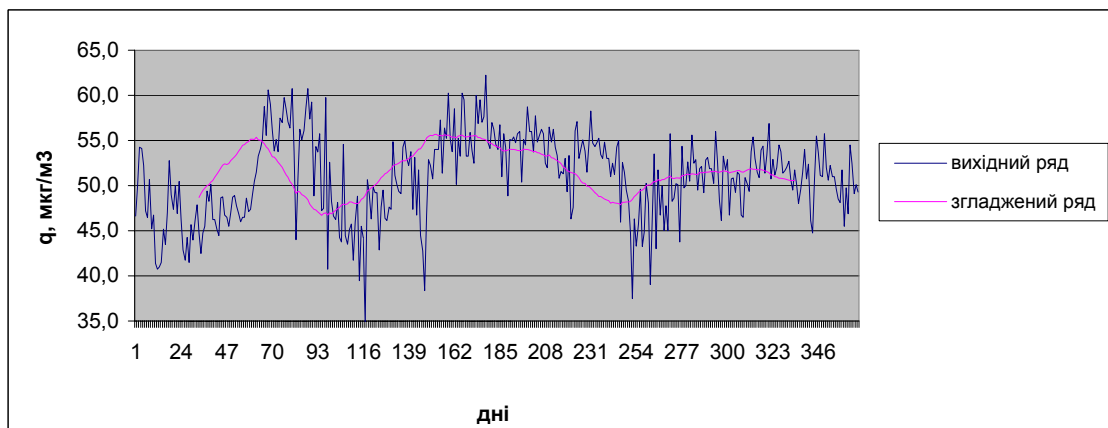
На рис.3.2-3.4 представлені графіки часових рядів концентрації SO<sub>2</sub> (2005 р.) за окремими районами, які згладжені з урахуванням максимальних періодичностей. Наведені дані свідчать про те, що найбільш стабільний на протязі року рівень забруднення атмосферного повітря м. Одеса у першому районі. У 2 та 3 районах простежується річний хід, тобто восени та весною періоди концентрації діоксиду сірки зменшуються, а взимку та влітку збільшуються. Це пояснюється, з одного боку, збільшенням викидів з опалювальних систем взимку. Влітку – сприятливими для накопичення шкідливих домішок є метеорологічні умови, у тому числі бризова циркуляція.

Таблиця 3.3 – Результати виявлення прихованих періодичностей часових рядів середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> у окремих районах міста (2005-2011 рр.)

Рік	Район	Частота коливання	Період коливання	Амплітуда коливання
1	2	3	4	5
2005	1	0,14	44,6	1,017
	2	0,09	68,72	1,218
	3	0,17	37,94	1,662
2006	1	0,23	27,39	1,056
	2	0,17	37	1,036
	3	0,17	37	1,158

Продовження табл.3.3

1	2	3	4	5
2007	1	0,17	37,94	1,695
	2	0,14	44,6	2,308
	3	0,24	26,2	0,808
2008	1	0,19	33,01	1,664
	2	0,17	37,94	1,196
	3	0,17	37,94	1,377
2009	1	0,17	37,94	1,696
	2	0,12	54,09	2,258
	3	0,09	68,72	2,579
2010	1	0,17	37,94	1,972
	2	0,14	44,6	2,773
	3	0,09	68,72	3,733
2011	1	0,24	26,2	1,779
	2	0,09	68,72	2,023
	3	0,12	54,09	1,36

Рисунок 3.2 – Згладжений ряд середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> (1 район, 2005 р.).Рисунок 3.3 – Згладжений ряд середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> (2 район, 2005 р.).

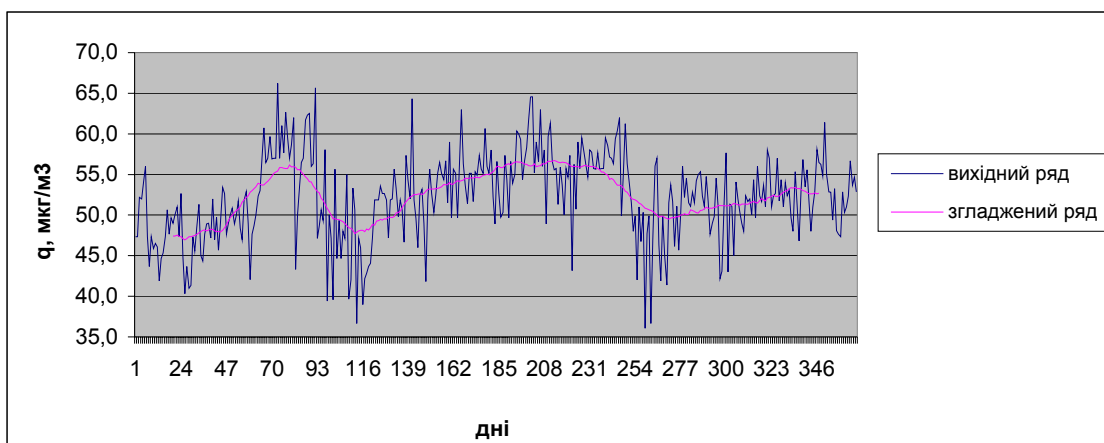


Рисунок 3.4 – Згладжений ряд середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  (3 район, 2005 р.).

У табл. 3.4 наведені результати виявлення прихованих періодичностей у часових рядах середньомісячних значень концентрації  $\text{SO}_2$  для окремих районів м. Одеса, як середня по усім КВП, віднесеним до району, за період 2005-2011 рр.

Таблиця 3.4 – Результати виявлення прихованих періодичностей по районам міста (2005-2011 рр.)

Рік	Район	Частота коливання	Період коливання	Амплітуда коливання
2005-2011	1	0,41	15,48	1,455
	2	0,52	12,19	1,620
	3	0,63	10,05	1,388

Аналізуючи максимальну періодичність за увесь досліджуваний часовий період по усім виділеним районам треба зауважити що, перш за все, така періодичність пов'язана з зміною теплих і холодних періодів року. У холодні періоду року збільшується навантаження на обігрів помешкань. У зимовий період спалюється велика купа палива, що є найбільшим джерелом потрапляння діоксиду сірки до атмосферного повітря, на другому місці по своїй важливості стоїть автотранспорт. У зимовий період двигуни багатьох автомобілів потребують прогріву, перед початком руху, у особливо холодні та дуже вологі дні температура двигунів при інтенсивному русі може падати, що теж призводить до роботи на підвищених обертах при зупинці автотранспорту, що негативно впливає на екологічну безпеку автотранспорту, оскільки при роботі на холостих обертах, на непрогрітому двигуні, та постійному русі у режимі – набір швидкості-зупинка викиди забруднюючих речовин, зокрема й діоксиду сірки, набувають найбільших значень. А у зимовий період зокрема таке поняття як «пробка» є дуже розповсюдженими на автомобільних шляхах.

На рис. 3.5 представлені графіки згладжених часових рядів концентрації  $\text{SO}_2$  (2005-2011 рр.) за окремими районами, які згладжені з урахуванням максимальних періодичностей: 1 район – 15 місяців; 2 район – 12 місяців; 3 район – 10 місяців.



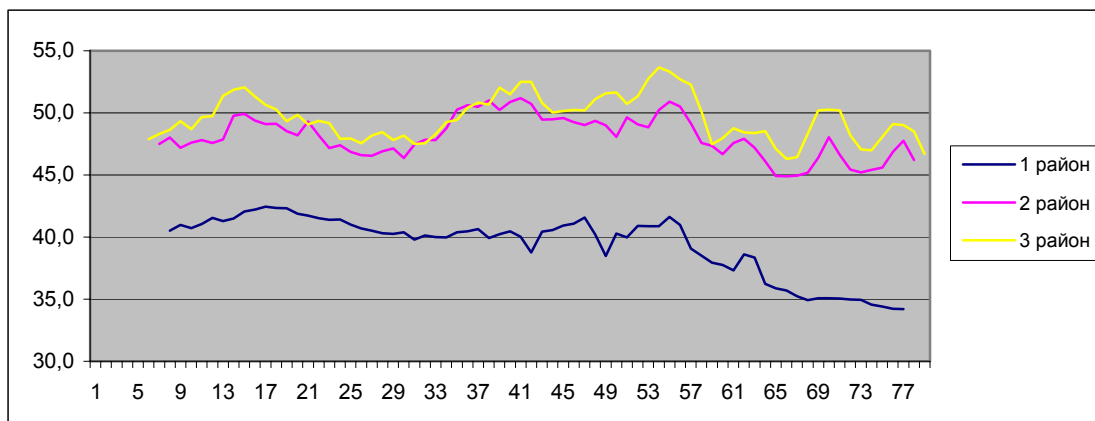


Рисунок 3.5 – Згладжені ряди по середньомісячній концентрації SO<sub>2</sub> різних районів міста (2005-2011 рр.).

Аналізуючи представлені на рис. 3.5 згладжені ряди різних районів міста можна зробити висновок, що найменші концентрації забруднюючої речовини, як вже було зазначено, спостерігаються у 1 районі (КВП 8), найбільші – у 2 і 3 районах, що є цілком очікуваним результатом, бо у 2 і 3 районах існує низка стаціонарних та пересувних джерел викидів діоксиду сірки до атмосферного повітря.

Не зважаючи на різний рівень концентрації, згідно з графіками, слід зауважити що зміна концентрації діоксиду сірки у усіх районах має приблизно однаковий хід, що пов'язано з метеорологічними умовами, які призводять до того що шкідливі домішки розповсюджуються майже однаково по усій території міста, але у різних концентраціях. Якщо у промисловій частині максимум концентрації, то у прибережній – мінімум, але якщо у одному районі відбувається різке підвищення концентрації, то теж саме спостерігається у інших районах міста Одеса.

### 3.3.2 Статистичний аналіз забруднення атмосферного повітря м. Одеса

За даними середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> були розраховані статистичні параметри, а саме:  $\bar{X}$ ,  $S_x$ ,  $A_s$ ,  $E$ . Розрахунки виконані по районам, як для окремих років, так і за весь період дослідження (2005-2011 рр.). Результати наведені у табл. 3.5.

На основі даних середньодобової концентрації діоксиду сірки а для усіх виділених районів побудовано ранжировані згруповані ряди концентрації SO<sub>2</sub>. Максимальні та мінімальні значення величини зазначені у табл.3.5.

На рис.3.6 наведений часовий хід середніх значень середньодобових концентрацій SO<sub>2</sub> за окремими районами м. Одеса за період 2005-2011 рр.

Таблиця 3.5 – Статистичні характеристики концентрації діоксиду сірки по районах м Одеси

Рік	Район	N	$\bar{X}$	$S_x$	$As$	$E$	$X_{\min}$	$X_{\max}$
2005	1	365	46,21	6,74	0,08	0,45	27,7	69,3
	2	365	50,91	4,61	-0,31	-0,08	34,8	62,3
	3	365	52,19	5,27	-0,18	0,05	36,1	66,2
2006	1	365	42,88	5,02	0,66	0,3	32	58,4
	2	365	50,8	3,3	0,32	0,4	42,1	62,3
	3	365	50,95	4,16	0,21	0,36	40,1	64,4
2007	1	365	42,92	7,14	-0,38	1,02	22	69
	2	365	48,9	5,45	-0,87	1,07	31,1	64,5
	3	365	51,3	5,15	0,24	0,11	37,9	67,3
2008	1	366	43,5	5,65	0,08	-0,1	27	60,7
	2	366	50,6	4,16	-0,06	-0,17	38	63,2
	3	366	51,41	4,86	-0,27	0,22	34,8	64,7
2009	1	365	42,17	7,46	0,45	0,83	18,3	67,6
	2	365	51,22	5,35	-0,09	1,69	27,7	75,9
	3	365	51,95	6,28	-0,48	1,94	26,5	71,9
2010	1	365	32,14	13,59	0,08	-1,37	10	65
	2	365	42,81	8,74	0,01	-0,94	22	65,2
	3	365	44,65	9,31	0,09	-0,63	22,9	69,2
2011	1	365	20,73	6,49	1,07	1,81	10,3	49,5
	2	365	37,73	6,68	-0,2	-0,67	20,5	51,8
	3	365	40,07	6,63	-0,25	-0,38	20,4	57,3
2005-2011	1	2556	38,65	7,44	0,29	0,42	10,0	69,3
	2	2556	47,56	5,47	-0,17	0,19	20,5	75,9
	3	2556	48,93	5,95	-0,09	0,24	20,4	71,9

Як свідчать дані середньодобової концентрації (рис.3.6) тільки у прибережній частині міста до 2009 р. середньодобова концентрація  $SO_2$  не перевищувала  $ГДК_{сд}$ . Майже по усій території міста середньодобова концентрація  $SO_2$  до 2009 р. коливалась близько  $ГДК_{сд}$ . У 2011 р. концентрація у прибережній частині міста дорівнювала  $0,4ГДК_{сд}$ , а на решті території  $0,8ГДК_{сд}$ . Це пов'язано, мабуть, зі зменшенням кількості антропогенних джерел  $SO_2$ .

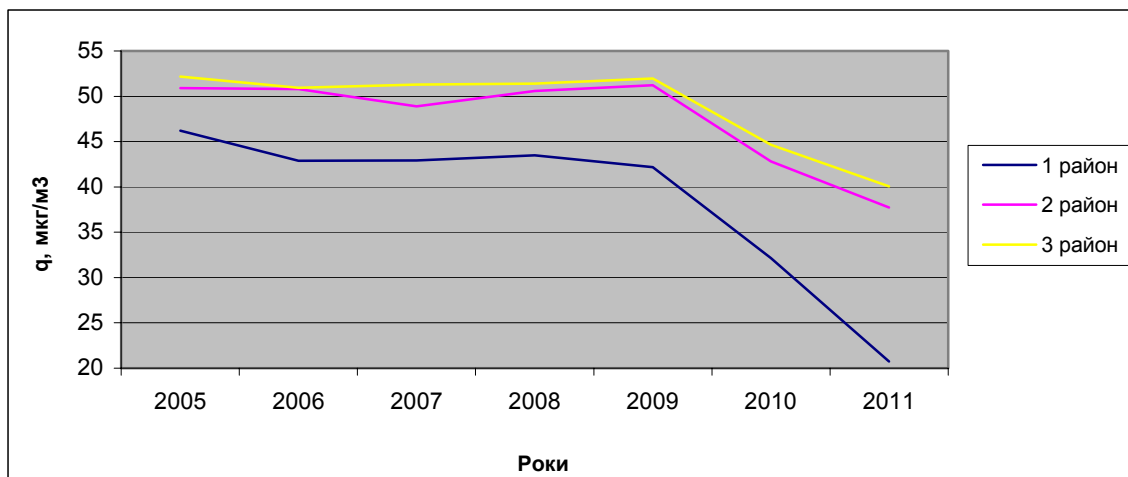


Рисунок 3.6 – Часовий хід середніх значень середньодобових концентрацій SO<sub>2</sub> за окремими районами м. Одеса (2005-2011 рр.).

У табл. 3.6 наведені статистичні данні згрупованого ряду середньодобової концентрації діоксиду сірки 1 району за 2005 рік. Такі розрахунки проведені для кожного року і кожному районі. Вони дозволили побудувати гістограми розподілу середньодобової концентрації SO<sub>2</sub>.

Таблиця 3.6 – Статистичні характеристики згрупованого ряду середньодобової концентрації діоксиду сірки в атмосфері м. Одеса (1 район, 2005 р.)

Інтервали	$m_i$	$\tilde{x}_i$	$P_i$	$P_i'$
27,7-31,2	7	29,44	0,02	0,02
31,2-34,6	10	32,91	0,03	0,05
34,6-38,1	22	36,38	0,06	0,11
38,1-41,6	42	39,85	0,12	0,22
41,6-45,1	79	43,32	0,22	0,44
45,1-48,5	67	46,79	0,18	0,62
48,5-52,0	79	50,26	0,22	0,84
52,0-55,5	32	53,73	0,09	0,93
55,5-58,9	16	57,20	0,04	0,97
58,9-62,4	6	60,67	0,02	0,99
62,4-65,9	2	64,14	0,01	0,99
65,9-69,3	3	67,61	0,01	1,00

На рис. 3.7 представлена гістограма середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> (1 район 2005 р.).

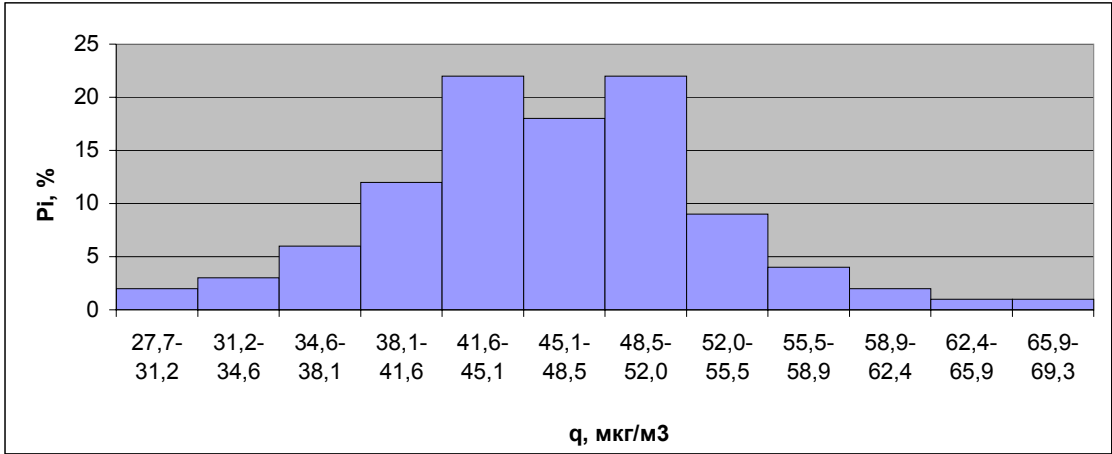


Рисунок 3.7 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (1 район, 2005р.).

Аналізуючи гістограми окремих районів і років можливо відмітити, що криві розподілу майже симетричні, але не підкорюються нормальному закону розподілу, на що указують коефіцієнти асиметрії та ексцесу, які відхиляються від нульового значення.

На рис. 3.8-3.10 наведені гістограми середньодобової концентрації SO<sub>2</sub>, для районів міста, які побудовані за даними періоду 2005-2011 рр.

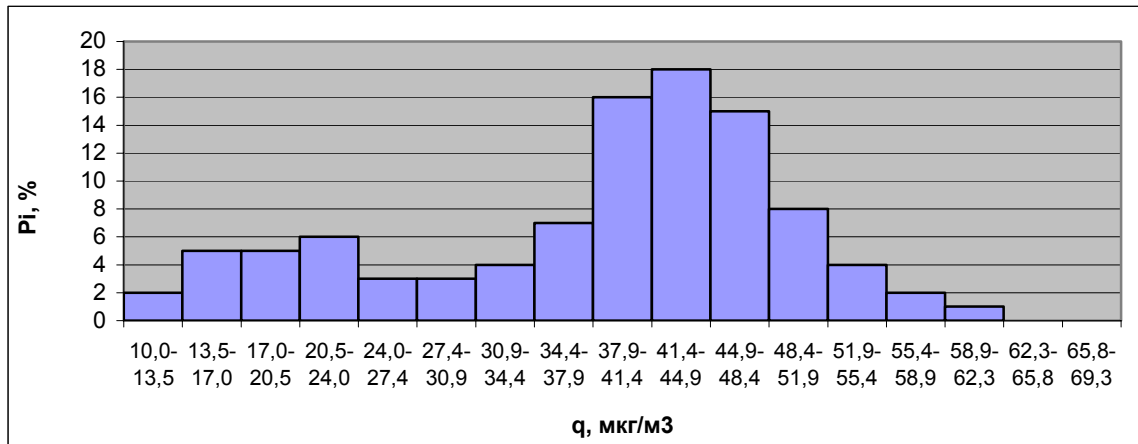


Рисунок 3.8 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (1 район, 2005-2011 рр.).

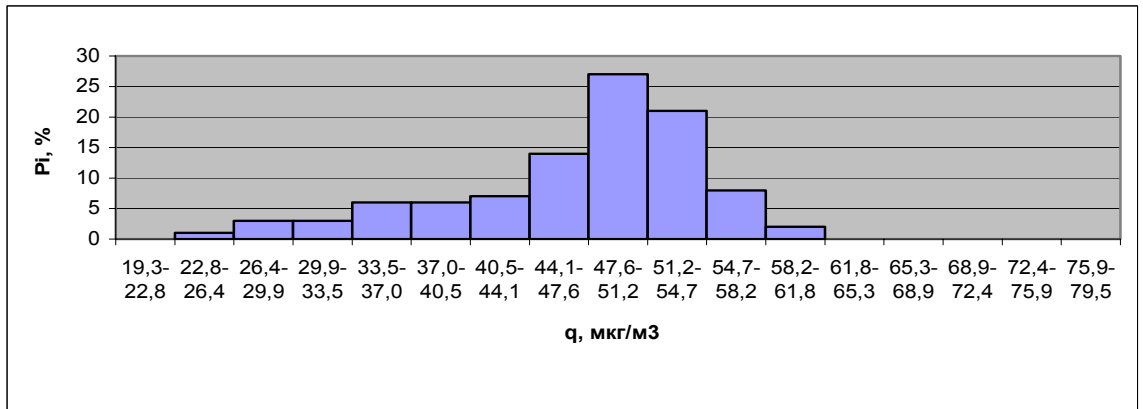


Рисунок 3.9 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (2 район, 2005-2011 рр.).

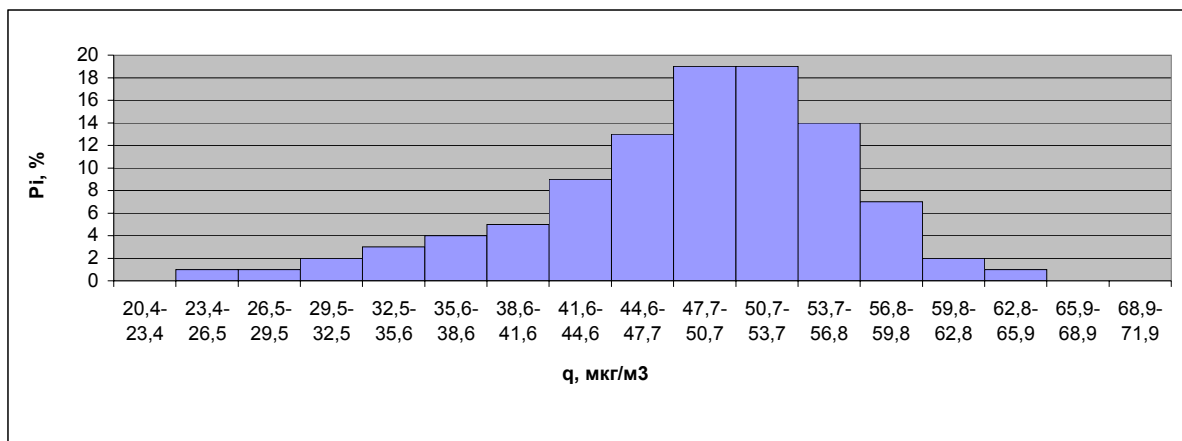


Рисунок 3.10 – Розподіл середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  в атмосфері м. Одеса (3 район, 2005-2011 рр.).

Всі наведені на рис. 3.8-3.10 гістограми мають лівосторонню асиметрію, тобто збільшена вірогідність невеликих значень концентрації діоксиду сірки. Це пов'язане зі зменшенням рівня забруднення атмосферного повітря міста у останні роки, починаючи з 2009 р., як це показано на рис. 3.6.

Для аналізу характеру розподілу концентрації діоксиду сірки у атмосферному повітрі м. Одеса побудовані поля середніх значень побудованих на даних за увесь період (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Поле середніх значень концентрації діоксиду сірки у атмосферному повітрі м. Одеса (2005-2011 рр.).

Поле середніх значень концентрації діоксиду сірки у атмосферному повітрі м. Одеса (рис. 3.11) свідчить, що найбільший рівень забруднення атмосферного повітря (близько ГДК<sub>сд</sub>) спостерігається в районі КВП №15, тобто в районі Пересипі, Московського мосту, де розташоване ТЕЦ і декілька промислових об'єктів, а також насичена транспортом міська магістраль. Підвищений рівень забруднення також в районі КВП №18, де також розташовані промислові підприємства. Цьому також сприяє роза вітрів м. Одеса, тобто у місці спостерігаються найбільші повторюваності вітрів північного та північно-західного напрямку.

Рівень забруднення атмосферного повітря міста поступово зменшується у напрямку моря і набуває найменших своїх значень у 1 виділеному просторовому районі (КВП №8), значення концентрацій на якому прийнято вважати за фонові. Це зрозуміло, оскільки у цьому районі відсутня значна кількість автотранспорту. На узбережжі взагалі заборонено проїзд транспорту та розташування промислових підприємств. Але не зважаючи на те, що у районі Французького бульвару (де розташовано КВП №8) немає значної кількості джерел викиду діоксиду сірки, у атмосферному повітрі теж спостерігаються певні концентрації забруднюючої речовини. Це пов'язане з переносом домішки повітряними масами, а саме завдяки тому, що переважаючими напрямками вітру є північний та північно-західний, які сприяють переносу діоксиду сірки від промислових районів до узбережжя. Також малим концентраціям діоксида сірки у 1 районі сприяє безпосередня близькість моря.

### 3.3.3 Аналіз рівня забруднення атмосферного повітря міста у річному розрізі

Статистичний аналіз однорідності часових рядів у річному розрізі дозволив визначити періоди року, у яких рівень забруднення однорідний (розділ 3.2.2). Визначено чотири періоди. За даними середньодобових значень концентрації згідно визначених періодів у річному розрізі виявлені приховані періодичності, які наведені у табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати виявлення прихованих періодичностей часових рядів середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> у річному розрізі (2005-2011 рр.)

Рік	Період	Частота коливання	Період коливання	Амплітуда коливання
1	2	3	4	5
2005	1	0,278	22,587	0,750
	2	1,505	4,175	2,021
	3	0,705	8,916	1,739
	4	0,370	16,990	1,672

Продовження табл.3.7

1	2	3	4	5
2006	1	0,278	22,587	0,337
	2	0,729	8,619	2,462
	3	0,705	8,916	2,088
	4	0,470	13,374	0,694
2007	1	0,160	39,329	1,355
	2	0,729	8,619	2,156
	3	0,555	11,327	2,214
	4	0,670	9,381	1,182
2008	1	0,278	22,587	0,764
	2	0,729	8,619	2,530
	3	0,405	15,525	2,811
	4	0,770	8,162	1,362
2009	1	0,456	13,785	0,616
	2	0,729	8,619	2,219
	3	0,555	11,327	2,917
	4	0,370	16,990	1,742
2010	1	0,456	13,785	0,471
	2	0,574	10,949	2,120
	3	0,705	8,916	1,707
	4	0,370	16,990	0,750
2011	1	0,160	39,329	1,697
	2	0,729	8,619	1,812
	3	0,705	8,916	2,048
	4	0,370	16,990	1,269
2005-2011	1	0,048	131,768	1,335
	2	0,103	61,222	0,673
	3	0,120	52,193	0,337
	4	0,038	166,115	2,63

На рис. 3.12-3.15 представлені графіки часових рядів концентрації SO<sub>2</sub> (2005 р.) по окремим періодам, які згладжені з урахуванням максимальних періодичностей.

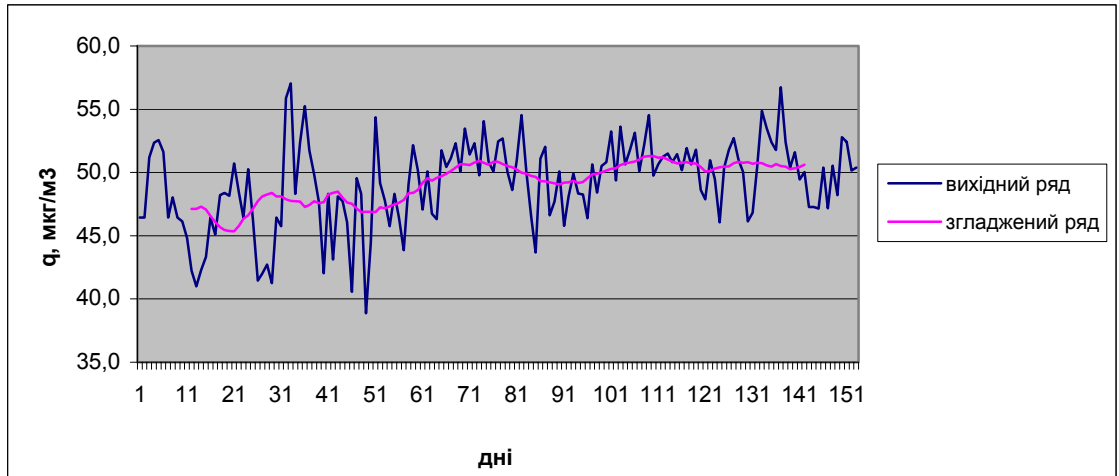


Рисунок 3.12 – Згладжений ряд середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  (1 період, 2005 р.).

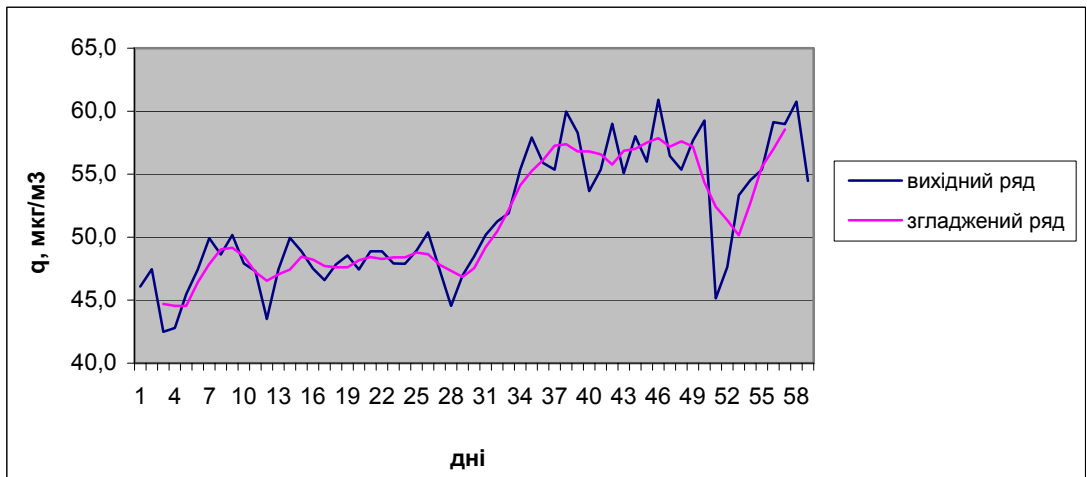


Рисунок 3.13 – Згладжений ряд середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  (2 період, 2005 р.).

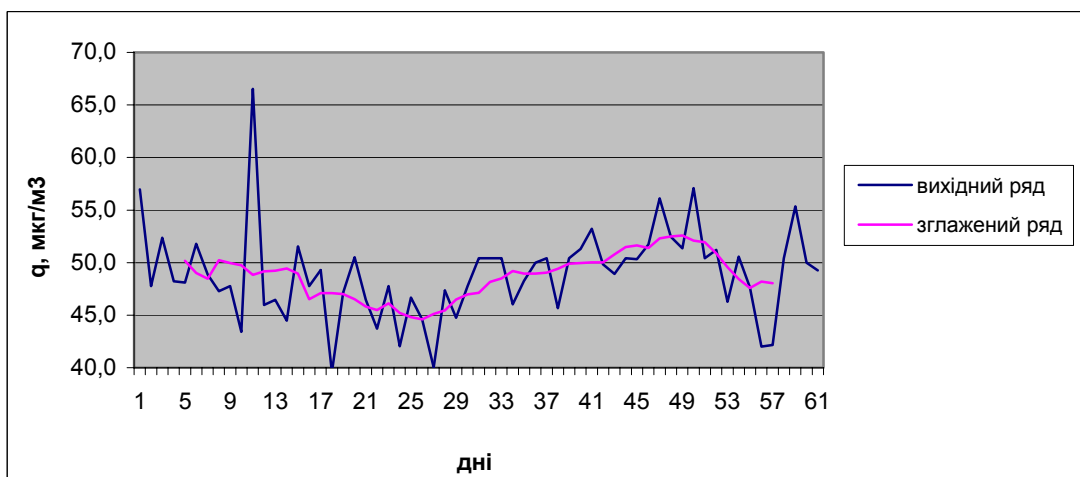


Рисунок 3.14 – Згладжений ряд середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  (3 період, 2005 р.).



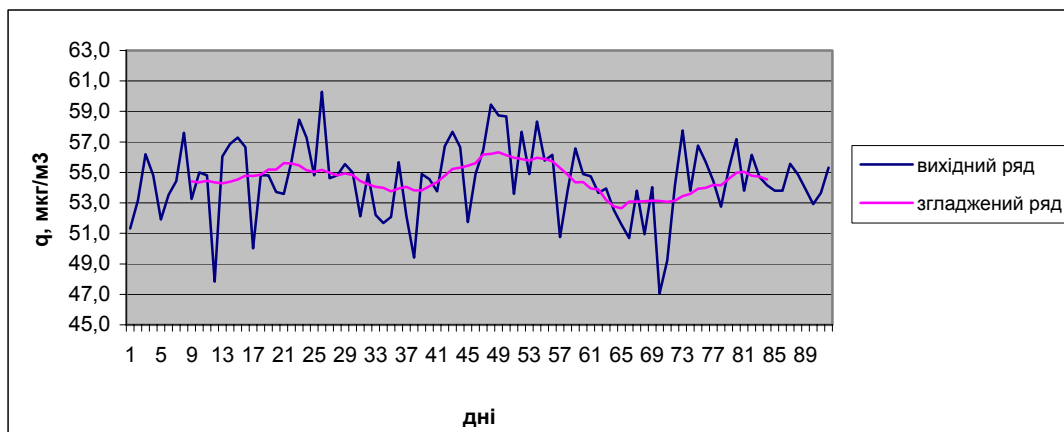


Рисунок 3.15 – Згладжений ряд середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  (4 період, 2005 р.).

Наведені графіки свідчать про те, що найбільш стабільний на протязі року рівень забруднення атмосферного повітря м. Одеса у 4 часовому періоді, а саме липень, серпень.

За даними середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  були розраховані статистичні параметри, а саме:  $\bar{X}$ ,  $S_x$ ,  $As$ ,  $E$ .. Розрахунки виконані по періодам, як для окремих років, так і за весь період дослідження (2005-2011 рр.). Результати наведені у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Статистичні характеристики концентрації діоксиду сірки по часовим періодам м. Одеси

Рік	Період	N	$\bar{X}$	$S_x$	$As$	$E$	$X_{\min}$	$X_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2005	1	153	49,23	3,42	-0,56	0,13	38,9	57
	2	59	51,52	4,91	0,28	-1,18	42,5	60,9
	3	61	49,1	4,33	0,58	1,66	39,6	66,5
	4	92	54,51	2,41	-0,45	0,3	47,1	60,3
2006	1	153	48,99	2,26	-0,18	0,23	42	54,8
	2	59	49,5	2,07	-0,19	0,23	43,1	55,8
	3	61	47,97	2,49	0,34	-0,12	42,3	54,6
	4	92	42,53	7,74	-0,08	-1,43	27,6	53,5
2007	1	153	51,07	2,74	0,43	0,09	44,7	60,1
	2	59	49,46	3,86	0,89	-0,4	44,8	59
	3	61	46,27	3,79	-0,51	-0,89	36,4	51,8
	4	92	47,42	6,68	-0,24	-0,32	30,6	65,2
2008	1	153	48,49	2,85	0,38	0,09	41,6	57,6
	2	60	51,41	2,54	0,06	-1,03	47	57,1
	3	61	47,96	3,65	-0,41	0	38,2	55
	4	92	53,04	2,4	-0,22	-0,4	47,2	58,3

Продовження табл. 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2009	1	153	48,66	3,54	0,91	3,89	38,8	67,9
	2	59	49,86	2,66	-0,97	0,81	42,3	55,5
	3	61	48,04	6,27	-1,15	0,54	30,4	56,9
	4	92	54,9	3,51	0,78	0,68	47,8	66,5
2010	1	153	36,7	7,74	0,77	0,15	21,1	58,2
	2	59	51,31	4,43	0,58	4,43	41,6	65,3
	3	61	46,08	5,53	-0,79	-0,31	28,9	54,4
	4	92	42,98	8,64	0,01	-1,32	27,6	57,9
2011	1	153	31,39	4,67	0,19	-0,64	19,9	43,2
	2	59	39,85	4,81	-1,27	2,21	20,4	47,5
	3	61	38,34	3,56	0,1	1,27	27,9	49,8
	4	92	41,65	3,3	0,22	-0,07	33,7	50,5
2005- 2011	1	1071	44,91	8,24	-0,98	-0,03	19,9	67,9
	2	414	48,86	5,49	-0,78	2,22	20,4	65,3
	3	427	46,27	5,61	-0,6	-0,6	27,9	66,5
	4	644	48,14	7,81	-0,57	-0,61	27,6	66,5

У табл. 3.9 наведені статистичні данні згрупованого ряду середньодобової концентрації діоксиду сірки 1 часового періоду за 2005 рік. Такі розрахунки проведені для кожного року і кожного періоду. Вони дозволили побудувати гістограми розподілу середньодобової концентрації SO<sub>2</sub>.

Таблиця 3.9 - Статистичні характеристики згрупованого ряду середньодобової концентрації діоксиду сірки в атмосфері по 1 періоду (2005 р.)

Інтервали	$m_i$	$\tilde{x}_i$	$P_i$	$P'_i$
38,9-40,7	1	39,81	0,01	0,01
40,7-42,5	5	41,62	0,05	0,06
42,5-44,3	3	43,43	0,03	0,09
44,3-46,1	7	45,24	0,07	0,16
46,1-47,9	17	47,05	0,17	0,33
47,9-49,8	16	48,86	0,16	0,48
49,8-51,6	28	50,67	0,28	0,76
51,6-53,4	16	52,48	0,16	0,92
53,4-55,2	5	54,29	0,05	0,97
55,2-57,0	3	56,10	0,03	1,00

На рис. 3.16 представлена гістограма згрупованого ряду середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> (1 період 2005 р.)

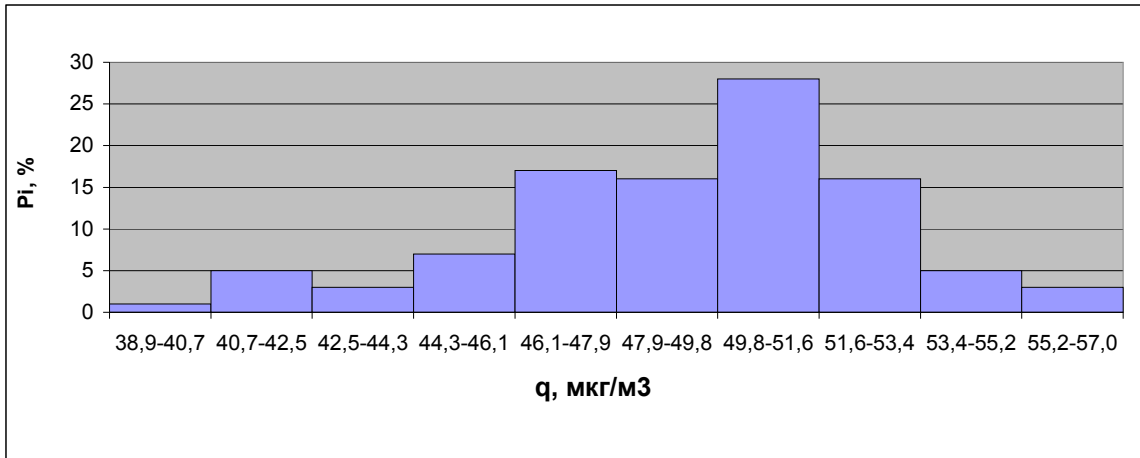


Рисунок 3.16 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (1 період, 2005р.).

Аналізуючи гістограми окремих періодів і років можливо відмітити, що криві розподілу можуть бути симетричними, або не підкорюються нормальному закону розподілу, на що вказують також коефіцієнти асиметрії та ексцесу, які більші або менші за нуль.

На рис. 3.17-3.20 наведені гістограми середньодобової концентрації SO<sub>2</sub>, для районів міста, які побудовані за даними періодів 2005-2011 рр.

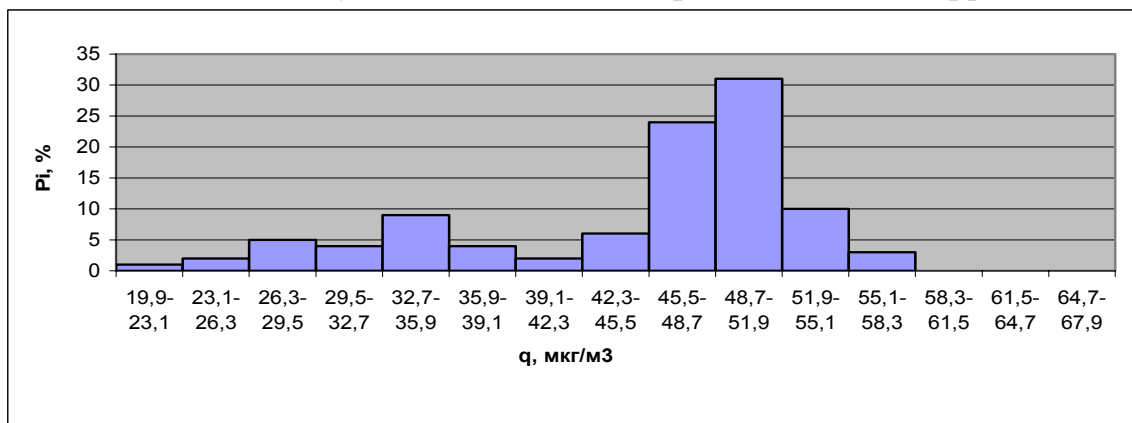


Рисунок 3.17 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (1 період, 2005-2011 рр.).

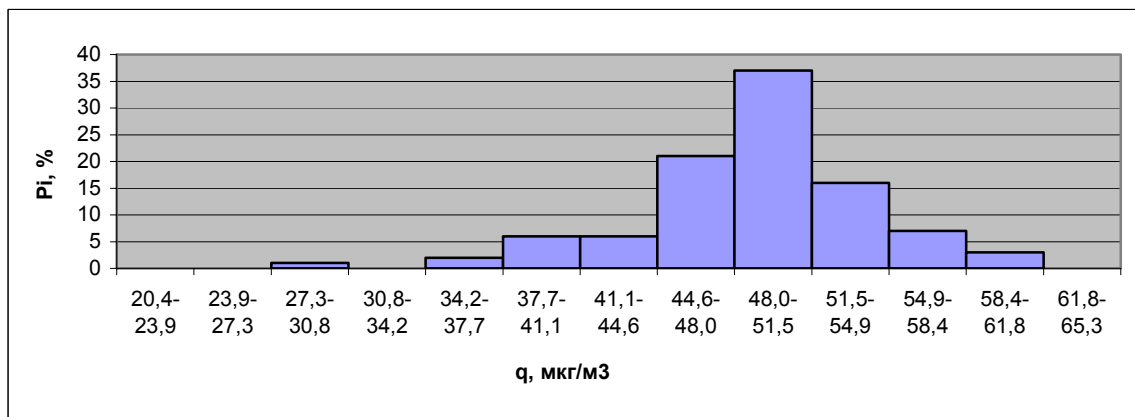


Рисунок 3.18 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (2 період, 2005-2011 рр.)

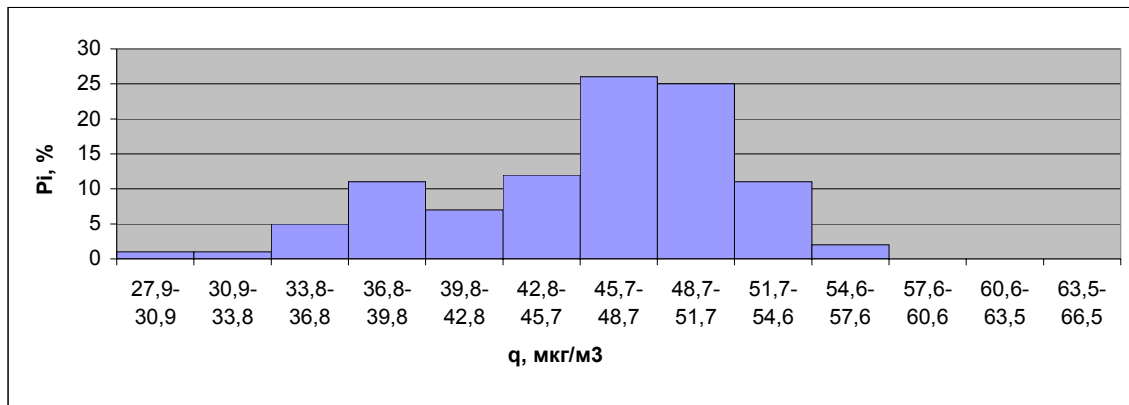


Рисунок 3.19 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (3 період, 2005-2011 рр.).

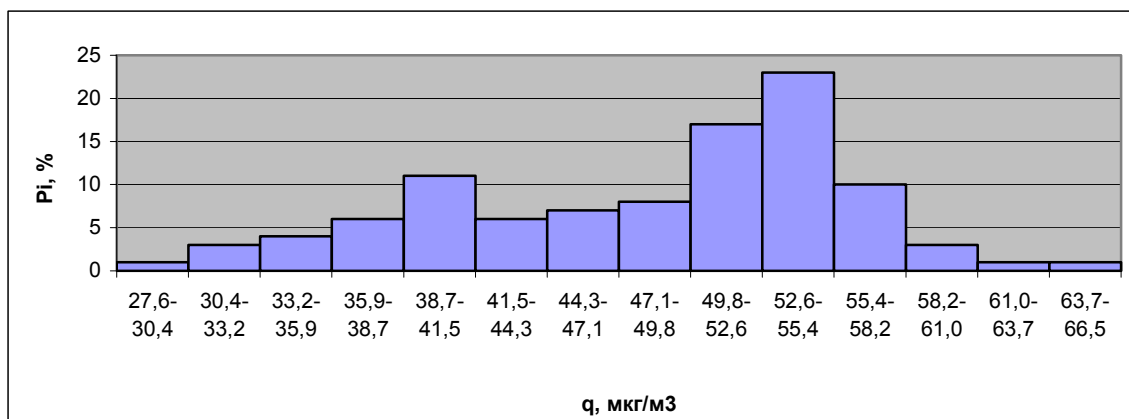


Рисунок 3.20 – Розподіл середньодобової концентрації SO<sub>2</sub> в атмосфері м. Одеса (4 період, 2005-2011 рр.).

Всі наведені гістограми мають лівосторонню асиметрію, тобто збільшена вірогідність невеликих значень концентрації діоксиду сірки за рахунок зменшення рівня забруднення атмосферного повітря міста у останні роки.

Аналізуючи гістограми розподілу, табл. 3.8 статистичних характеристик слід зауважити, що найбільші концентрації діоксида сірки у атмосферному повітрі міста Одеса спостерігаються у холодний період року (взимку), а саме у 1 виділеному часовому періоді, це пов'язано, як вже було відмічено, з початком опалювального сезону, з 2009 року чітко можна побачити тенденцію по зменшенню концентрації діоксида сірки у атмосферному повітрі по всім 4 періодам, насамперед у холодний період року, це пов'язано з переходом багатьох опалювальних об'єктів з твердого палива (вугілля) на природний газ.

#### 4 СТАН ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ м. ОДЕСА ДІОКСИДОМ АЗОТУ

Діоксид азоту – це одна з основних домішок атмосферного повітря.

Під час здійснення аналізу забруднення повітряного басейну м. Одеси діоксидом азоту як вихідні дані були використані матеріали таблиці ТЗА-1 (форма 4) про значення разових концентрацій діоксиду азоту на мережі стаціонарних постів міста за період з 2007 по 2013 роки.

На КВП № 15, № 17, і № 20 вимірювання здійснювалися за повною програмою (4 рази на добу), на постах № 8, 16 і 19 за неповною програмою (на КВП № 8 – у строки: 1, 13 і 19 годин, на КВП № 16 – у 7,13 і 19 годин, а на КВП № 19 – у 1,7 і 19 годин), на постах № 10 і № 18 – за скороченою програмою (на КВП № 10 – у 1 і 13 годин, на КВП № 18 у 13 і 19 годин).

Для проведення статистичного аналізу забруднення атмосферного повітря м. Одеси були розраховані основні статистичні характеристики забруднення атмосфери: кількість вимірювань, середньомісячна концентрація на пості, максимальна за місяць концентрація, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, кількість випадків перевищення ГДК<sub>сд</sub>, 5ГДК<sub>сд</sub> і 10ГДК<sub>сд</sub>.

Розрахунок середньомісячних концентрацій діоксиду азоту проводився для восьми КВП м. Одеси за даними 2013 року (табл.4.1). Результати показали, що середньомісячна концентрація діоксиду азоту на КВП № 8 в розрізі року знаходиться в діапазоні значень від 0,050 мг/м<sup>3</sup> (1,25ГДК<sub>сд</sub>) до 0,066 мг/м<sup>3</sup> (1,65 ГДК<sub>сд</sub>). Такі значення показників свідчать про те, що забруднення повітря діоксидом азоту навіть у прибережній зоні, яку представляє КВП № 8, перевищує ГДК<sub>сд</sub> у будь-яку пору року.

Таблиця 4.1 – Середньомісячні концентрації діоксиду азоту за 2013 рік

Місяць	Пости								ГДК <sub>сд</sub>
	8	10	15	16	17	18	19	20	
1	0,060	0,060	0,061	0,064	0,068	0,072	0,065	0,061	0,04
2	0,066	0,063	0,060	0,072	0,072	0,071	0,068	0,066	0,04
3	0,057	0,068	0,057	0,076	0,071	0,079	0,071	0,062	0,04
4	0,051	0,061	0,056	0,066	0,069	0,068	0,062	0,061	0,04
5	0,050	0,063	0,059	0,062	0,061	0,064	0,060	0,061	0,04
6	0,055	0,057	0,058	0,070	0,063	0,074	0,072	0,068	0,04
7	0,053	0,062	0,061	0,073	0,074	0,072	0,074	0,072	0,04
8	0,059	0,064	0,060	0,077	0,073	0,073	0,074	0,072	0,04
9	0,052	0,059	0,060	0,068	0,064	0,069	0,063	0,083	0,04
10	0,053	0,060	0,059	0,071	0,064	0,076	0,065	0,063	0,04
11	0,055	0,088	0,064	0,071	0,063	0,070	0,069	0,060	0,04
12	0,051	0,060	0,061	0,065	0,059	0,092	0,063	0,061	0,04

На КВП № 10 значення середньомісячних концентрацій знаходяться в діапазоні: від 0,057 мг/м<sup>3</sup> (1,42ГДК<sub>сд</sub>) до 0,088 мг/м<sup>3</sup> (2,2ГДК<sub>сд</sub>); на КВП №15 від 0,056 мг/м<sup>3</sup> (1,4ГД<sub>сд</sub>) до 0,064 мг/м<sup>3</sup> (1,6 ГДК<sub>сд</sub>); на КВП № 16 від 0,062 мг/м<sup>3</sup> (1,55 ГДК<sub>сд</sub>) до 0,076 мг/м<sup>3</sup> (1,9 ГДК<sub>сд</sub>); на КВП № 17 – в діапазоні від 0,059 мг/м<sup>3</sup> (1,47 ГДК<sub>сд</sub>) до 0,074 мг/м<sup>3</sup> (1,85 ГДК<sub>сд</sub>).

На КВП № 18 – в діапазоні від 0,064 мг/м<sup>3</sup> (1,6 ГДК<sub>сд</sub>) до 0,092 мг/м<sup>3</sup> (2,3 ГДК<sub>сд</sub>). Такі значення показників свідчать про те, що повітря в районі КВП №18, який знаходиться на вул. Балківській, найбільш забруднене діоксидом азоту, та перевищує ГДК<sub>сд</sub> більш ніж в два рази. В цьому районі спостерігається найбільший рух автотранспорту.

На КВП № 19 від 0,060 мг/м<sup>3</sup> (1,5 ГДК<sub>сд</sub>) до 0,074 мг/м<sup>3</sup> (1,85 ГДК<sub>сд</sub>); на КВП №20 в діапазоні від 0,060 мг/м<sup>3</sup> (1,5 ГДК<sub>сд</sub>) до 0,083 мг/м<sup>3</sup> (2,07 ГДК<sub>сд</sub>).

На рис.4.1 представлено часовий хід середньомісячних концентрацій на всіх розглядаємих постах.

Аналіз графіка часового ходу, представленого на рис. 4.1, показує, що найменш низькі концентрації діоксиду азоту спостерігаються в районі КВП №8 0,05мг/м<sup>3</sup> (1,25ГДК), а найбільш високі значення – на КВП № 18, які досягли 0,092 мг/м<sup>3</sup> (2,3ГДК), але в будь-якому районі міста середньомісячні концентрації спостерігаються вище ГДК<sub>сд</sub>.

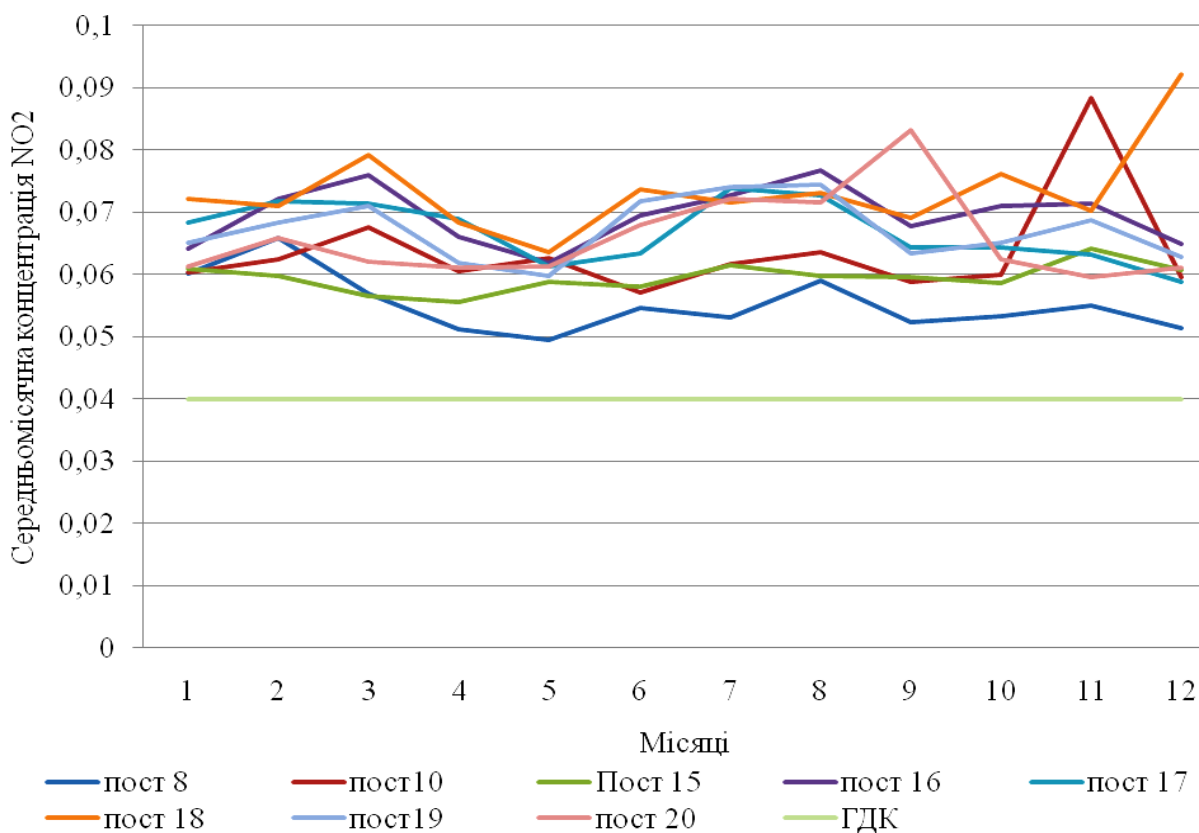


Рисунок 4.1 – Часовий хід середньомісячних концентрацій діоксиду азоту на КВП м. Одеси (2013 р.).

У зимовий період, починаючи з грудня по лютий місяць, концентрації діоксиду азоту спостерігаються приблизно в одному діапазоні, лише на КВП №18 концентрація діоксиду азоту у грудні місяці досягла максимально пікового значення. С початку весняного періоду середньомісячні концентрації поступово починають збільшуватись, але вже в травні місяці, можна спостерігати зменшення концентрацій діоксиду азоту, найменше значення яких, зафіксоване на КВП №8. З літнього періоду концентрація діоксиду азоту знову починає підвищуватись. В осінній період, у вересні місяці спостерігається різкий стрибок концентрації на КВП №20, та на КВП № 10, на інших же КВП середньомісячні концентрації діоксиду азоту спостерігаються в діапазоні від  $0,052 \text{ мг/м}^3$  до  $0,076 \text{ мг/м}^3$ . Але необхідно зауважити, що середньомісячні концентрації діоксиду азоту перевищують ГДК<sub>сд</sub> протягом усього року.

Зменшення концентрації діоксиду азоту настільки ж ймовірно в теплий період року, як і в холодний. Це свідчить про те, що основними джерелами забруднення повітряного басейну є переважно викиди пересувних джерел, а не стаціонарних.

У табл. 4.2 представлені значення статистичних оцінок моментів розподілу середньомісячних концентрацій  $\text{NO}_2$  на КВП №8 в період з 2007 р. по 2013 р.: об'єм вибірки – 84; мінімальне значення –  $0,043 \text{ мг/м}^3$ ; максимальне значення –  $0,082 \text{ мг/м}^3$ ; середнє значення –  $0,0579 \text{ мг/м}^3$ ; середньоквадратичне відхилення –  $0,00709 \text{ мг/м}^3$ ; асиметрія –  $0,06 \text{ мг/м}^3$ ; ексцес –  $1,02 \text{ мг/м}^3$ ; мода –  $0,0622 \text{ мг/м}^3$ .

Таблиця 4.2 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу середньомісячних концентрацій  $\text{NO}_2$  (пост 8, 2007 – 2013 рр.)

$n$	84
$x_{min}$	0,043
$x_{max}$	0,082
$\bar{x}$	0,0579
$S_x$	0,00709
$\hat{r}_3 = As$	0,06
E	-1,02
$M_0$	0,0622

За даними середньомісячних значень, розраховані інтервальні емпіричні частоти та значення випадкових величин по середині кожної градації (табл.4.3)

На підставі розрахунків побудована гістограма розподілу середньомісячних концентрацій  $\text{NO}_2$  (рис.4.2.).

Таблиця 4.3 – Вірогідність розподілу середньомісячних концентрацій NO<sub>2</sub> по градаціям (пост 8, 2007 – 2013 рр.)

Градації		$m_i$	$\sum_{i=1}^9 m_i$	$\tilde{x}_i$	$\hat{p}_i$	$\sum_{i=1}^9 \hat{p}_i$
0,0432	0,0476	5	5	0,0454	0,06	0,06
0,0476	0,0519	16	21	0,0497	0,19	0,25
0,0519	0,0563	16	37	0,0549	0,19	0,44
0,0563	0,0606	14	51	0,0584	0,7	0,61
0,0606	0,0649	18	69	0,0627	0,21	0,82
0,0649	0,0693	11	80	0,0671	0,13	0,95
0,0693	0,0736	4	84	0,0714	0,05	1,00
0,0736	0,0780	0	84	0,0757	0,00	1,00
0,0780	0,0823	0	84	0,0801	0,00	1,00
$\Sigma$		84			1,00	

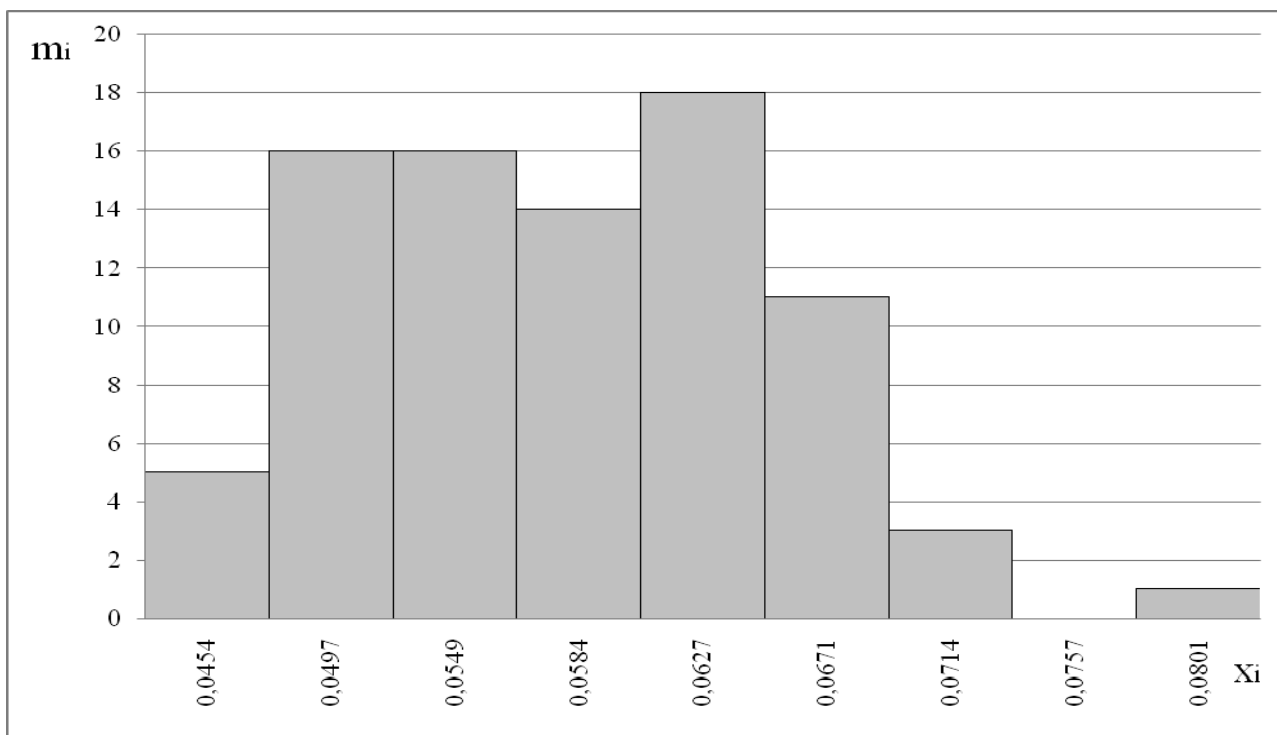


Рисунок 4.2 – Гістограма розподілу середньомісячних концентрацій NO<sub>2</sub> (пост №8, 2007-2013р.р.).

У табл. 4.4 представлені значення статистичних оцінок моментів розподілу середньодобових концентрацій NO<sub>2</sub> на КВП №8 в період з 2007р. по 2013р.: об'єм вибірки – 2102; мінімальне значення – 0,0106 мг/м<sup>3</sup>; максимальне значення – 0,11 мг/м<sup>3</sup>; середнє значення – 0,0580 мг/м<sup>3</sup>; середньоквадратичне відхилення – 0,0134 мг/м<sup>3</sup>; асиметрія – 0,47 мг/м<sup>3</sup>; ексцес – 0,05; мода – 0,0559мг/м<sup>3</sup>.



Таблиця 4.4 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу середньодобових концентрацій NO<sub>2</sub> (пост 8, 2007-2013 рр.)

$n$	2102
$x_{min}$	0,0106
$x_{max}$	0,11
$\bar{x}$	0,0580
$S_x$	0,0134
$\hat{r}_3 = As$	0,47
$E$	-0,05
$M_0$	0,0559

За даними середньомісячних значень, розраховані інтервальні емпіричні частоти та значення випадкових величин на середині кожної градації (табл.4.5).

На підставі розрахунків побудована гістограма розподілу середньодобових концентрацій NO<sub>2</sub> (рис.4.3).

Часовий хід середньомісячних концентрацій діоксиду азоту на КВП №8 м. Одеси з 2007 по 2013 роки, наведено на рис.4.4.

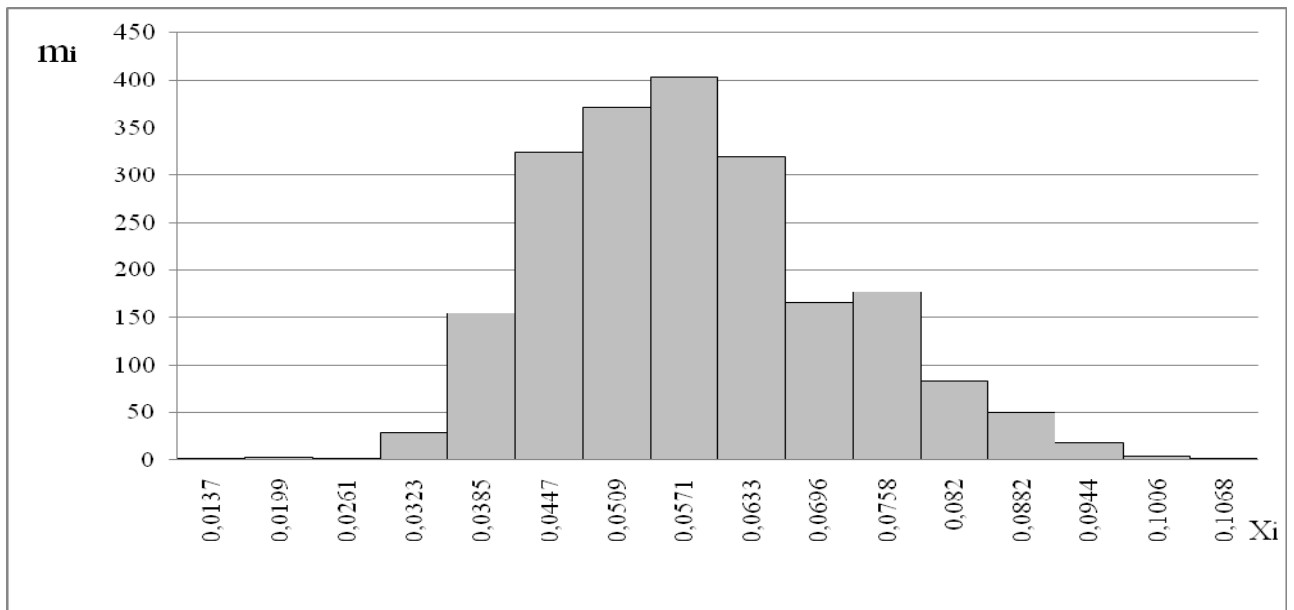
Аналіз графіка часового ходу середньомісячних концентрацій діоксиду азоту на КВП №8, що знаходиться на Французькому бульварі на території Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів (рис.4.2), показує, що в період з 2007 по 2013 роки, постійно спостерігається перевищення ГДКсд (0,04мг/м<sup>3</sup>). Середньомісячна концентрація, була зафіксована в діапазоні від 0,04мг/м<sup>3</sup> до 0,082мг/м<sup>3</sup>. Максимальна середньомісячна концентрація зафіксована у червні 2007 року, яка склала 0,082мг/м<sup>3</sup> (2,05ГДКсд). Мінімальна концентрація діоксиду азоту спостерігається у серпні 2009 року і складає 0,043мг/м<sup>3</sup> (1,01ГДКсд).

Таблиця 4.5 – Вірогідність розподілу середньодобових концентрацій NO<sub>2</sub> по градаціям (пост 8, 2007-2013рр.)

Градації		$m_i$	$\sum_{i=1}^{16} m_i$	$\tilde{x}_i$	$\hat{p}_i$	$\sum_{i=1}^{16} \hat{p}_i$
1	2	3	4	5	6	
0,0106	0,0168	1	1	0,0137	0,00	0,00
0,0168	0,0230	3	4	0,0199	0,00	0,00
0,0230	0,0292	1	5	0,0261	0,00	0,00
0,0292	0,0354	29	34	0,0323	0,01	0,02
0,0354	0,0417	154	188	0,0385	0,07	0,09
0,0417	0,0479	323	511	0,0447	0,15	0,24
0,0479	0,0541	370	881	0,0509	0,18	0,42
0,0541	0,0603	403	1284	0,0571	0,19	0,61
0,0603	0,0665	319	1603	0,0633	0,15	0,76
0,0665	0,0727	166	1769	0,0696	0,08	0,84

Продовження табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7
0,0727	0,0789	177	1946	0,0758	0,08	0,93
0,0789	0,0851	83	2029	0,0820	0,04	0,97
0,0851	0,0913	50	2079	0,0882	0,02	0,99
0,0913	0,0975	18	2097	0,0944	0,01	1,0
0,0975	0,1037	4	2101	0,1006	0,00	1,0
0,1037	0,11	1	2102	0,1068	0,00	1,0
Σ		2102			1,00	

Рисунок 4.3 – Гістограма розподілу середньодобових концентрацій NO<sub>2</sub> (пост №8, 2007-2013р.р.).

На рис.4.4 наведено часовий хід середньодобових концентрацій діоксиду азоту на КВП №8 за 2013 рік.

Часовий хід середньодобової концентрації діоксиду азоту, на КВП №8 у 2013 р. (рис. 4.4), показує, що найбільше її значення спостерігалось в зимній період, у січні і лютому місяці, яке досягло 0,076мг/м<sup>3</sup> (1,9ГДКсд), далі спостерігався поступовий спад концентрації до квітня місяця, коли було зафіксоване значення нижче ГДКсд, тобто 0,036 мг/м<sup>3</sup> (0,9ГДКсд). З кінця травня по серпень місяць концентрація діоксиду азоту знову підвищилася і вже в кінці серпня спостерігався різкий стрибок концентрації до 0,076 мг/м<sup>3</sup>. А вже на початку вересня було зафіксовано найменше значення концентрації 0,036 мг/м<sup>3</sup>, після чого вона знову підвищилась і коливалася в діапазоні від 0,043 мг/м<sup>3</sup> до 0,066мг/м<sup>3</sup> аж до початку грудня, а всередині місяця вона стрімко впала до значення 0,036 мг/м<sup>3</sup>, а далі вже до кінця року, спостерігалось перевищення ГДКсд.

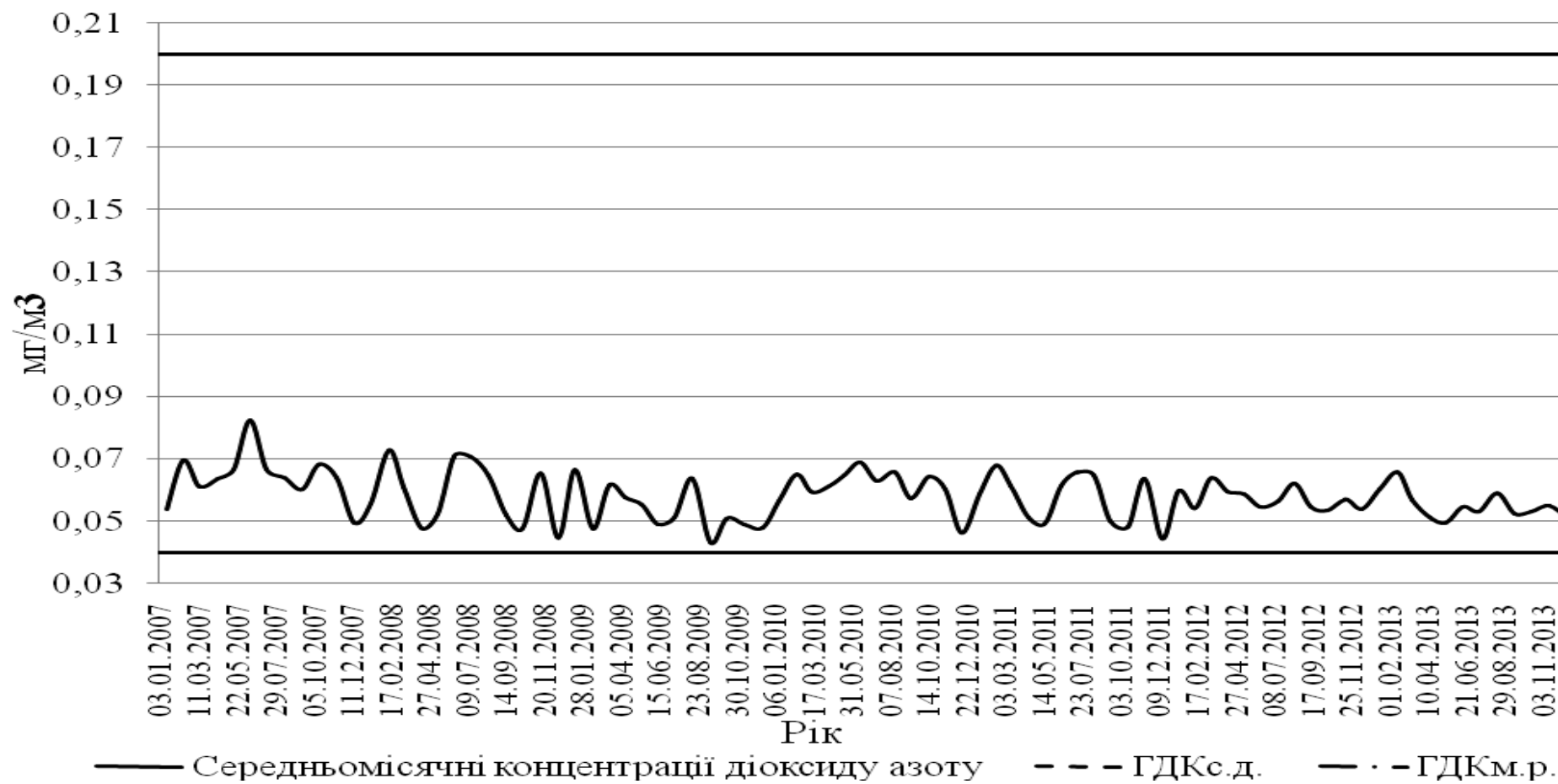


Рисунок 4.4 – Часовий хід середньомісячних концентрацій діоксиду азоту на КВП №8 м. Одеси (2007-2013 рр.)

## 5 ОПТИМАЛЬНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ВЕЛИКОМУ ПРОМИСЛОВОМУ МІСТІ

При певному стані граничного стану в атмосферному повітрі міста створюються високі концентрації шкідливих речовин. Методи прогнозу рівнів забруднення повітря, якщо вони створені, дають можливість отримати прогноз цього явища з означеною завчасністю. Задача полягає в тому, щоб шляхом регулювання режимів роботи досягнути при небезпечних атмосферних умовах спланованого поля концентрації інгредієнта. Воно визначається шляхом вимірювань на мережі контрольно-вимірювальних постів міста. Регулювання режимів роботи підприємств необхідно організувати таким чином, щоб сумарний економічний збиток від регулювання режиму роботи підприємства був мінімальним. Таким чином, задача зводиться до задачі лінійного програмування. Така задача являє собою формальну математичну модель, яка є некоректною, тому що при виведенні цільової функції здійснюються деякі припущення і обмеження. Крім того, вимірювання концентрації інгредієнтів виконуються з недостатній точністю, а також мають місце похибки при камеральній обробки результатів вимірювань. Такі некоректні задачі розв'язуються шляхом розробки регуляризованого алгоритму [8,9,19].

### 5.1 Алгоритм і структура програмного модуля планування полів концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі

**Задача 1** полягає в розрахунку матриці кореляцій концентрацій шкідливої домішки, розрахованих по вимірах на  $N$  КВП міста у наступній послідовності:

#### 1. Формування матриці вихідних даних

$$\chi = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (5.1)$$

де  $i=1,2,3,\dots,n$  – номер КВП;

$j=1,2,3,\dots,m$  – порядковий номер виміру інгредієнта  $x$ .

В матриці кожен стовпець являє собою поле концентрацій.  
Кожна строка – статистичний ряд значень концентрацій інгредієнта на і-тому КВП;

2. Розрахунок середнього значення концентрацій на кожному КВП

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.2)$$

Отримуємо вектор середніх значень

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \bar{x}_3 \\ \dots \\ \bar{x}_n \end{pmatrix};$$

3. Проведення операції центрування

$$\Delta x_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_i), \quad (i = \overline{1, n})(j = \overline{1, m}). \quad (5.3)$$

Отримуємо матрицю центрованих значень концентрацій

$$\Delta X = \begin{pmatrix} \Delta x_{11} & \Delta x_{12} & \dots & \Delta x_{1j} & \dots & \Delta x_{1m} \\ \Delta x_{21} & \Delta x_{22} & \dots & \Delta x_{2j} & \dots & \Delta x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta x_{i1} & \Delta x_{i2} & \dots & \Delta x_{ij} & \dots & \Delta x_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta x_{n1} & \Delta x_{n2} & \dots & \Delta x_{nj} & \dots & \Delta x_{nm} \end{pmatrix}; \quad (5.4)$$

4. Матрицю  $\Delta X$  транспонуємо

$$\Delta X' = \begin{pmatrix} \Delta x_{11} & \Delta x_{21} & \dots & \Delta x_{i1} & \dots & \Delta x_{n1} \\ \Delta x_{12} & \Delta x_{22} & \dots & \Delta x_{i2} & \dots & \Delta x_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta x_{1j} & \Delta x_{2j} & \dots & \Delta x_{ij} & \dots & \Delta x_{nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta x_{1m} & \Delta x_{2m} & \dots & \Delta x_{im} & \dots & \Delta x_{nm} \end{pmatrix};$$

5. Розрахунок матриці коваріації

$$K_x = \frac{1}{m} \Delta X \cdot \Delta X'. \quad (5.5)$$

Індекс (') позначає операцію транспонування матриці.  
Вона має вигляд

$$K_x = \begin{pmatrix} \sigma_{x1}^2 & K_{x1x2} & \dots & K_{x1xj} & \dots & K_{x1xn} \\ K_{x2x1} & \sigma_{x2}^2 & \dots & K_{x2xj} & \dots & K_{x2xn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{xix1} & K_{xix2} & \dots & \sigma_{xi}^2 & \dots & K_{xixn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{xnx1} & K_{xnx2} & \dots & K_{xnxj} & \dots & \sigma_{xn}^2 \end{pmatrix};$$

6. Формування діагональної матриці середніх квадратичних відхилень

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_i & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \sigma_N \end{pmatrix},$$

де

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2}, \quad (i = \overline{1, n}) \quad (5.6)$$

7. Знаходження зворотної матриці –  $\sigma^{-1}$

$$\sigma^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_1} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sigma_i} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{1}{\sigma_N} \end{pmatrix}; \quad (5.7)$$

8. Визначення матриці кореляцій  $R_x$

$$R_x = \sigma^{-1} K_x \sigma^{-1} \quad (5.8)$$

Отримуємо матрицю виду

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & r_{x1x2} & \dots & r_{x1xj} & \dots & r_{x1xn} \\ r_{x2x1} & 1 & \dots & r_{x2xj} & \dots & r_{x2xn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{xix1} & r_{xix2} & \dots & 1 & \dots & r_{xixn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{xnx1} & r_{xnx2} & \dots & r_{xnxj} & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

Блок-схема вирішення задачі 1, пов'язаної із розрахунком матриці кореляції концентрацій наведена на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 – Блок-схема задачі 1 (Блок 1).

**Задача 2** полягає у побудові на основі визначеної системи координат на території міста поля кореляції концентрацій інгредієнта з подальшим перетворенням вказаної системи координат:

1. Побудова системи  $(x, y)$  прямокутних координат на території міста шляхом вибору шагу сітки, вибору  $N$  числа вузлів регулярної сітки точок і визначенням їх координат

$$a \leq x \leq b ; \quad c \leq y \leq d ; \quad (5.9)$$

2. Побудова поля кореляції з центром (полюс кореляції) в  $i$ -тому КВП;
3. Перетворення вказаного прямокутника координат в квадрат  $-1 \leq \alpha \leq 1 ; -1 \leq \beta \leq 1$  за допомогою операцій переносу початку координат і стискання, що визначаються рівняннями

$$\alpha = \frac{2x - (a + b)}{b - a}, \quad (5.10)$$

$$\beta = \frac{2y - (c + d)}{d - c}; \quad (5.11)$$

Блок-схема вирішення задачі 2, наведена на рис. 5.2

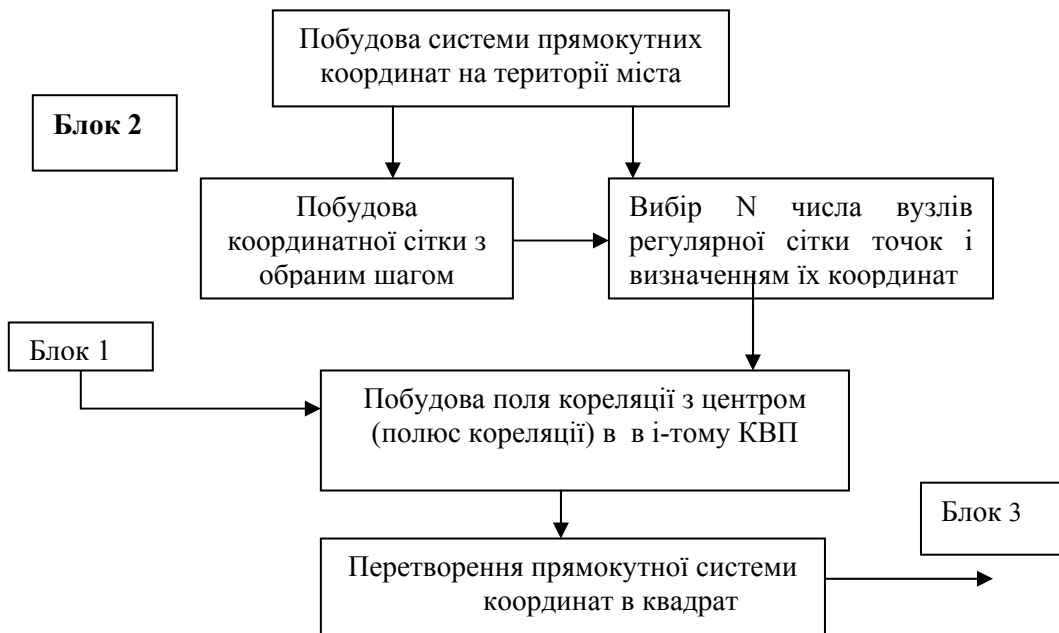


Рисунок 5.2 – Блок-схема вирішення задачі 2 (Блок 2).

**Задача 3** полягає в апроксимації поля кореляції інгредієнту за допомогою алгебраїчного поліному третього ступеню

$$r(\alpha, \beta) = A_1 \alpha^3 + A_2 \beta^3 + A_3 \alpha^2 \beta + A_4 \alpha \beta^2 + A_5 \alpha^2 + A_6 \beta^2 + A_7 \alpha \beta + A_8 \alpha + A_9 \beta + A_{10}, \quad (5.12)$$

і побудові апроксимованих полів кореляції для кожного полюса кореляції.



1. Для цього вирішується система алгебраїчних рівнянь:

$$A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^6 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 \beta_i + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 +$$

$$+ A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i^3$$

$$A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^6 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^4 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^5 + A_5 \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_6 \sum_{i=1}^L \beta_i^5 +$$

$$+ A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i^4 + A_{10} \sum_{i=1}^L \beta_i^3 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \beta_i^3$$

$$A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 \beta_i + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^4 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i^2 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 +$$

$$+ A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i^2 \beta_i$$

$$A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i^2 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^5 + A_3 \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^3 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_5 \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 +$$

$$+ A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_8 \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_9 \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_{10} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i \beta_i^2$$

$$A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^5 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i + A_4 \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 +$$

$$+ A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i^2$$

$$A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^5 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^4 +$$

$$+ A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i^3 + A_{10} \sum_{i=1}^L \beta_i^2 = \sum_{i=1}^L r_{pi} \beta_i^2$$

$$A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 \beta_i + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^4 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i^2 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^3 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 +$$

$$+ A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i \beta_i$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^4 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 + A_9^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i + A_{10}^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \alpha_i
\end{aligned} \quad ; \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 \beta_i + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^4 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i^2 + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^3 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^3 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i^2 + A_{10} \sum_{i=1}^L \beta_i = \sum_{i=1}^L r_{pi} \beta_i
\end{aligned} \quad ;$$

$$\begin{aligned}
& A_1^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^3 + A_2^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^3 + A_3^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \beta_i + A_4^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i^2 + A_5^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 + A_6^{(p)} \sum_{i=1}^L \beta_i^2 + \\
& + A_7^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i \beta_i + A_8^{(p)} \sum_{i=1}^L \alpha_i + A_9 \sum_{i=1}^L \beta_i + A_{10}^{(p)} L = \sum_{i=1}^L r_{pi}
\end{aligned}$$

Система рівнянь вирішується для кожного  $p$ -того полюса кореляцій ( $p = \overline{1, L}$ ), для якого  $r_{pp} = 1$  ( $p = 1, L$ );  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  – умовні координати відповідних КВП в перетвореній системі координат.

Коефіцієнти полінома (5.12)  $A_1, \dots, A_{10}$  визначаються для відповідних полів кореляції концентрації інгредієнту за допомогою методу найменших квадратів.

2. Розрахунок апроксимованих полів кореляції для кожного полюса  $\tilde{r}_{pj}$  ( $j = \overline{1, N}$ ), де  $N$  – число вузлів регулярної сітки точок. Для цього по координатах  $(x, y)$  вузлів регулярної сітки точок системи координат розраховуються умовні координати  $(\alpha, \beta)$ , які підставляються у рівняння (5.14).

3. Розрахунок середньої квадратичної похибки апроксимації для кожного полюса  $p$  ( $p = \overline{1, L}$ )

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (r_{pj} - \tilde{r}_{pj})^2}{N-1}} \quad . \quad (5.14)$$

На рис. 5.3 наведена блок-схема задачі 3, яка полягає в апроксимації поля кореляції інгредієнту і побудові апроксимованих полів кореляції для кожного полюса кореляції.

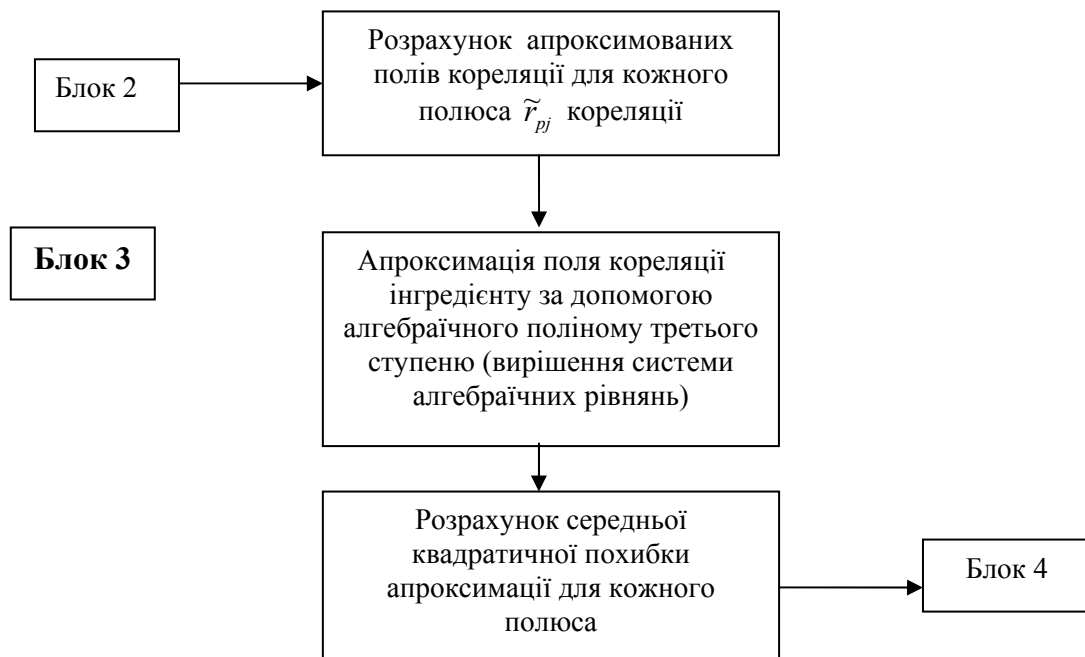


Рисунок 5.3 – Блок-схема задачі 3 (Блок 3).

**Задача 4** полягає у визначенні характеристик концентрації домішки в точці її максимуму [13,15] з метою наступного знаходження коефіцієнтів регресії і побудови системи лінійних рівнянь множинної регресії, що визначають залежність між концентраціями інгредієнта  $q_j$  на  $j$ -тому КВП і концентраціями інгредієнту в точках максимуму концентрацій  $C_{mi}$ , які створюються викидами  $i$ -того джерела. Рівняння регресії і коефіцієнти регресії визначаються за формулами (5.1 і 5.2), які наведені у [13]. В формулі (5.2)  $\sigma_{qj}$  – середнє квадратичне відхилення концентрації домішки на  $j$ -тому КВП;  $r_{qjC_{mi}}$  – характеризує кореляційний зв'язок між концентраціями домішки  $q_j$  на  $j$ -тому КВП і в точці максимуму концентрації  $i$ -того джерела викиду.

Координати цієї точки визначаються напрямком і швидкістю вітру на рівні джерела викиду, тобто залежать від типу атмосферних процесів. Значення  $r_{qjC_{mi}}$  знаходяться за апроксимованими полями кореляції (задача 3), що відповідають  $j$ -тому полю кореляції  $j = \overline{1, L}$ .

$\sigma_{C_{mi}}$  – середнє квадратичне відхилення концентрації домішки в точці максимуму концентрації  $i$ -того джерела викиду.

Для визначення коефіцієнтів регресії необхідно розрахувати ряд параметрів, на підставі технічних і технологічних характеристик джерел викидів, метеохарактеристик, в наступній послідовності:

1. Визначення параметру  $f_i$

$$f_i = 10^3 \frac{\sigma_0 D_i}{H_i^2 \Delta T_i}, \quad (5.15)$$

де  $\varpi_{0i}$  – швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду;

$D_i$  – діаметр отвору джерела;

$H_i$  – висота джерела;

$\Delta T_i = \tilde{T}_i - T_i$  – перегрів газоповітряної суміші ( $\tilde{T}_i$ ) в порівнянні із температурою навколишнього повітря ( $T_i$ ) [15];

2. Розрахунок параметрів  $v_{mi}$ ,  $v'_{mi}$ ,  $f_e$ ,  $m_i$ ,  $n_i$  за формулами:

$$v_{mi} = 0,653 \sqrt{\frac{\pi D_i^2 \varpi_{0i} \Delta T_i}{4 H_i}}; \quad (5.16)$$

$$v'_{mi} = 1,3 \frac{\varpi_{0i} D_i}{H_i}. \quad (5.17)$$

Небезпечна швидкість вітру  $u_m$  розраховується за формулами:

- для джерела гарячих викидів ( $f < 100$ ):

$$\begin{aligned} u_m &= 0,5 && \text{при } v_m \leq 0,5, \\ u_m &= v_m && \text{при } 0,5 < v_m \leq 2, \\ u_m &= v_m (1 + 0,12 \sqrt{f}) && \text{при } v_m > 2. \end{aligned} \quad (5.18)$$

- для джерела холодних викидів ( $f \geq 100$  або  $\Delta T \approx 0$ )

$$\begin{aligned} u_m &= 0,5 && \text{при } v'_m \leq 0,5, \\ u_m &= v'_m && \text{при } 0,5 < v'_m \leq 2, \\ u_m &= 2,2 v'_m && \text{при } v'_m > 2. \end{aligned} \quad (5.19)$$

3. Розрахунок параметрів  $\delta_i$ :

при  $f_i < 100$

$$\delta_i = 2,48 (1 + 0,283 \sqrt{f_i}), \quad \text{при } v_{mi} \leq 0,5; \quad (5.20)$$

$$\delta_i = 4,95 (1 + 0,283 \sqrt{f_i}), \quad \text{при } 0,5 < v_{mi} \leq 2,0; \quad (5.21)$$

$$\delta_i = 7 \sqrt{v_{mi}} (1 + 0,283 \sqrt{f_i}), \quad \text{при } v_{mi} > 2,0. \quad (5.22)$$

При  $f_i \geq 100$

$$\delta_i = 5,7, \quad \text{при } v'_{mi} \leq 0,5; \quad (5.23)$$

$$\delta_i = 11,4v'_{mi}, \quad \text{при } 0,5 < v'_{mi} \leq 2,0; \quad (5.24)$$

$$\delta_i = 16\sqrt{v'_{mi}}, \quad \text{при } v'_{mi} > 2,0. \quad (5.25)$$

4. Обчислення відстані  $l_{mi}$  між місцем розташування джерела викиду  $A_i(x_{Ai}, y_{Ai})$  і точкою максимуму концентрації  $C_{mi}(x_{mi}, y_{mi})$ , яка створюється  $i$ -тим джерелом

$$l_{mi} = \frac{5 - F_i}{4} H_i d_i 10^{-3}, \quad (5.26)$$

де  $F_i$  – параметр, що характеризує газоповітряну суміш на виході з джерела задається.

5. Визначення складових радіус-вектора точки максимуму концентрації інгредієнта на осі сліду факелу

$$l_{x_{mi}} = -l_{mi} \sin \alpha, \quad (5.27)$$

$$l_{y_{mi}} = -l_{mi} \cos \alpha, \quad (5.28)$$

де  $\alpha$  – середній напрямок вектору в шарі атмосфери, товщина якого дорівнює ефективній висоті джерела викиду.

6. Визначення координат точки максимуму концентрації  $C_{mi}$ :

$$x_{mi} = x_{Ai} + l_{x_{mi}}; \quad (5.29)$$

$$y_{mi} = y_{Ai} + l_{y_{mi}} \quad (5.30)$$

7. Визначення  $r_{qpC_{mi}}$  за апроксимованими полями кореляції (задача 3) для відповідного  $p$ -того полюса ( $p = \overline{1, L}$ ) кореляції за відомими координатами точки максимуму концентрації  $(x_{mi}, y_{mi})$ .

8. Визначення параметру  $q_i$

$$q_i = \frac{\dot{A} F_i m_i n_i \eta}{H_i^2}, \quad (i = \overline{1, K}), \quad (5.31)$$

де  $\dot{A}$  – параметр, що визначає інтенсивність турбулентної дифузії (задається);  $\eta$  – коефіцієнт рельєфу місцевості.

9. Визначення параметру  $V_i$

$$V_i = \frac{\pi D_i^2}{4} \omega_{0i} \quad (5.32)$$

10. Визначення параметру  $\theta_i$

$$\theta_i = \frac{M_i}{\sqrt[3]{V_i \Delta T_i}}, \quad (\Delta T \neq 0), \quad (5.33)$$

де  $M_i$  – потужність викиду з джерела (задається).

11. Визначення концентрації інгредієнту в точці максимуму при  $\Delta T \neq 0$

$$C_{mi} = q_i \cdot \theta_i. \quad (5.34)$$

У випадку холодного викиду ( $\Delta T \approx 0$ )

$$C_{mi} = \frac{AF_i M_i n_i \eta}{H_i^{4/3}} \cdot \frac{D_i}{8V_i}. \quad (5.35)$$

12. Визначення  $\sigma_{c_{mi}}$  за умови  $f_i < 100$ :

- при  $0,5 \leq v_{mi} \leq 2,0$

$$\sigma_{C_{mi}} = \left[ \frac{\sigma_{mi}^2}{M_i^2} + \left( \frac{\pi^2 D_i^2 v_{mi}^2 (1,046 v_{mi} - 2,13)^2}{144 n_i^2} + \frac{4(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\omega_{0i}}^2 + \left( \frac{v_{mi}^2 (1,046 v_{mi} - 2,13)^2}{9 \Delta T_i^2} + \frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2 \Delta T_i^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\Delta T_i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \bar{C}_{mi}, \quad (5.36)$$

- при  $v_{mi} > 2$

$$\sigma_{C_{mi}} = \bar{C}_{mi} \sqrt{\frac{\sigma_{mi}^2}{M_i^2} + \left( \frac{1}{9 \Delta T_i^2} + \frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2 \Delta T_i^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,034\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\Delta T_i}^2 + \left( \frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i \Delta T_i^2 (0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\omega_{0i}}^2}, \quad (5.37)$$

- при  $v_{mi} < 0,5$

$$\sigma_{C_{mi}} = \bar{C}_{mi} \sqrt{\frac{\sigma_{mi}^2}{M_i^2} + \left( \frac{1}{9\omega_{oi}^2} + \frac{4(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i^2\omega_{oi}^2(0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left( \frac{19,4v_{mi}^2 + 1}{9\Delta T_i^2} + \frac{(0,05\sqrt{f_i} + 0,11\sqrt[3]{f_i})^2}{m_i(0,67 + 0,1\sqrt{f_i} + 0,34\sqrt[3]{f_i})^4} \right) \cdot \sigma_{\Delta T_i}^2} . \quad (5.38)$$

13. Визначення  $\sigma_{C_{mi}}$  за умови  $f_i \geq 100$

- при  $0,5 \leq v_{mi} \leq 2,0$

$$\sigma_{C_{mi}} = \bar{C}_{mi} \sqrt{\frac{\sigma_{mi}^2}{M_i^2} + \left( \frac{(1,046v_{mi} - 2,13)^2 v_{mi}^2 \pi D_i^2}{36(0,532v_{mi}^2 - 2,13v_{mi} + 3,13)^2} + \frac{0,96}{\omega_{oi}^2 \sqrt[3]{f_i^2 m_i^2}} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left( \frac{(1,046v_{mi} - 2,13)^2 + 1}{9\Delta T_i^2} + \frac{0,24}{\Delta T_i^2 \sqrt[3]{f_i m_i^2}} \right) \sigma_{\Delta T_i}^2} , \quad (5.39)$$

- при  $v_{mi} > 2,0$

$$\sigma_{C_{mi}} = \bar{C}_{mi} \sqrt{\frac{\sigma_{mi}^2}{M_i^2} + \left( \frac{0,96}{m_i^2 \omega_{oi}^2 \sqrt[3]{f_i^2}} + \frac{1}{9\omega_{oi}^2} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left( \frac{1}{9\Delta T_i^2} + \frac{0,24}{\Delta T_i^2 \sqrt[3]{f_i^2 m_i^2}} \right) \sigma_{\Delta T_i}^2} , \quad (5.40)$$

- при  $v_{mi} < 0,5$

$$\sigma_{C_{mi}} = \bar{C}_{mi} \sqrt{\frac{\sigma_{mi}^2}{M_i^2} + \left( \frac{19,4v_{mi}^2 + 1}{9\omega_{oi}^2} \right) \cdot \sigma_{\omega_{oi}}^2 + \left( \frac{19,4v_{mi}^2 + 1}{9\Delta T_i^2} \right) \sigma_{\Delta T_i}^2} , \quad (5.41)$$

де  $\sigma_{\omega_{oi}}^2$  – дисперсія швидкості виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду;

$\sigma_{mi}^2$  – дисперсія параметра  $M_i$ ;

$\sigma_{\Delta T_i}^2$  – дисперсія перегріву газоповітряної суміші;

$M_i$  – потужність викиду джерела;

$\omega_i$  – швидкість виходу газоповітряної суміші.

Блок схема задачі 4 (Блок 4) програми «Регулювання антропогенного навантаження на атмосферне повітря великих міст при несприятливих метеорологічних умовах» наведена на рис. 5.4.

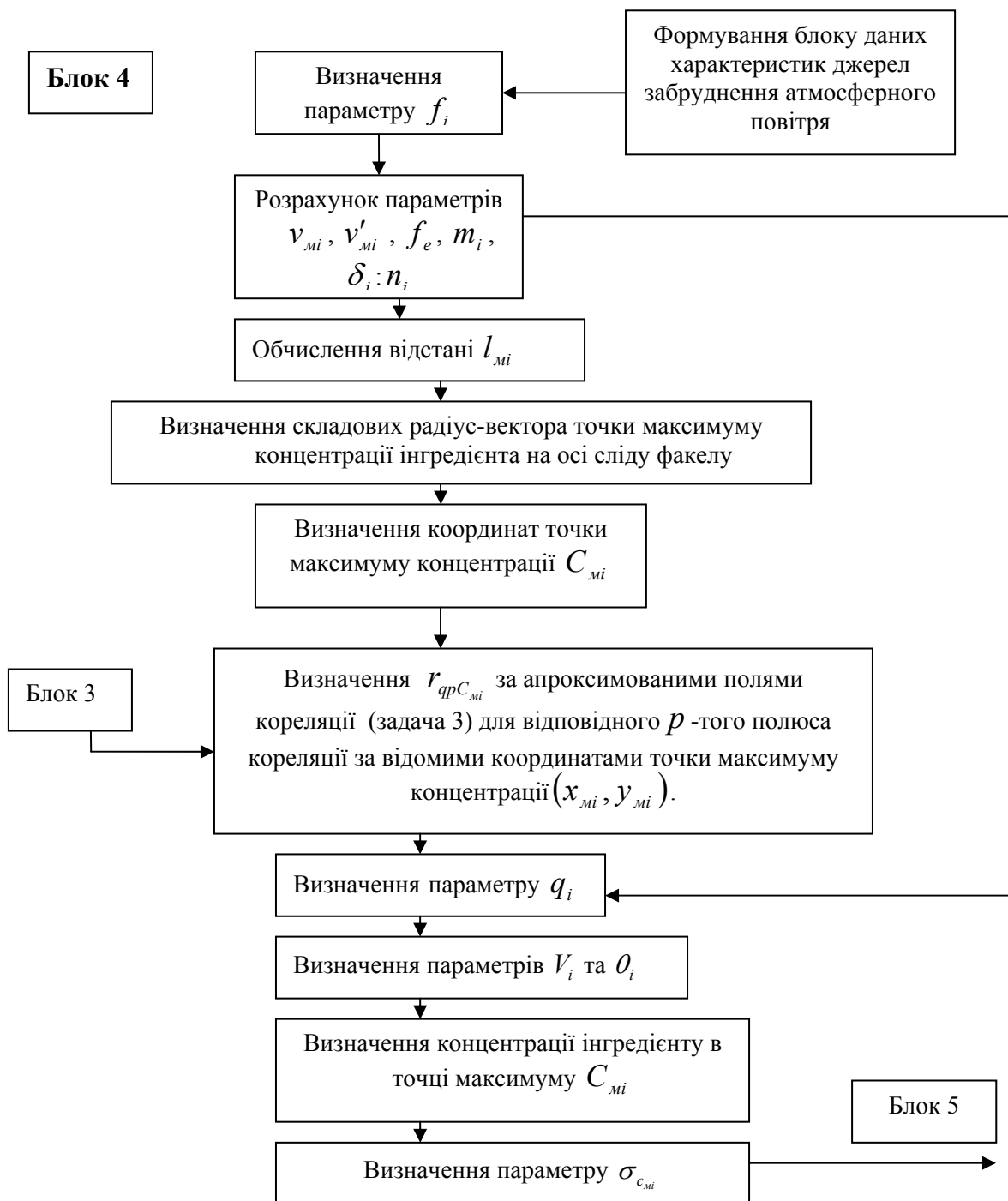


Рисунок 5.4 – Блок схема задачі 4 (Блок 4).

**Задача 5** – алгоритм регулювання режиму роботи підприємств:

1.

изначення коефіцієнту регресії:

$$a_{SK} = \frac{\sigma_{QS}}{\sigma_{C_{MK}}} r_{qsCmk} a_{S0} = \overline{q_S} - \sum_{i=1}^k a_{Si} c_{Mi} \quad (5.42)$$

В



Для рівняння регресії

$$q_s = a_{s0} + a_{s1} C_{M1} + a_{s2} C_{M2} + \dots + a_{sk} C_{Mk} \quad (5.43)$$

Визначення функцій

$$\varphi_s = \overline{C_{Mi}} - C_{Mi} \quad (5.44)$$

2. Побудова системи лінійних обмежень

$$a_{s1} \varphi_1 + a_{s2} \varphi_2 + \dots + a_{sk} \varphi_{sk} \leq \omega_{Sn}, \quad (5.45)$$

де 
$$\omega_{Sn} = q_{Sm} - q_{Sn}; \quad (5.46)$$

$q_{Sm}$  – максимальне значення концентрації інгредієнту в районі S-го КВП при певному типіві атмосферних процесів;

$q_{Sn}$  – планове значення концентрацій інгредієнту;

3. Визначення питомої вартості продукції підприємства:

$$\chi_i = \frac{Q_i}{\overline{\theta}_i}, \quad (5.47)$$

де  $Q_i$  – вартість продукції  $i$ -того підприємства за добу;

$\overline{\theta}_i$  – встановлені технологічні параметри підприємства;

3. Визначення сумарної питомої вартості  $\chi_i$  для всіх підприємств – забруднювачів в місті:

$$\xi = \sum_{i=1}^K \chi_i; \quad (5.48)$$

4. Визначення відносної питомої вартості продукції  $i$ -го підприємства:

$$b_i = \frac{\chi_i}{\xi}, \quad (5.49)$$

де  $\sum_{i=1}^K b_i = 1$ , а  $b_i * Q_i$  – умовна вартість продукції  $i$ -го підприємства за умови, що технологічний параметр зменшений до рівня  $\theta_i$ .

Таким чином,  $b_i(\overline{\theta}_i - \theta_i)$  – це величина втрат  $i$ -го підприємства при зміні режиму його роботи, пов'язаній із заданим зменшенням технологічного параметру.

Сумарні втрати всіх підприємств міста:

$$L(\theta) = \sum_{i=1}^K b_i (\overline{\theta}_i - \theta_i). \quad (5.50)$$

5. Знаходження параметру  $P_i$ 

$$P_i = \frac{b_i}{g_i}. \quad (5.51)$$

## 7. Знаходження функції цілі.

Подальше перетворення формули (5.50) з введенням параметру  $q_i$ , що обумовлене рівністю (3.31), з метою того, щоб містити ті ж змінні, що і система лінійних обмежень приводить до кінцевого виразу:

$$L(\varphi) = \sum_{i=1}^K P_i \varphi_i, \quad (5.52)$$

де  $\varphi_i$  визначається як рівняння (5.44).

Вираз лінійної форми (5.52) і є функцією цілі.

Таким чином, вирішення задачі лінійного програмування – знайти такі значення  $\varphi_i = (i=\overline{1, K})$ , які доставляють мінімум лінійної форми (5.52) при лінійних обмеженнях

$$a_{s1} \varphi_1 + a_{s2} \varphi_2 + \dots + a_{sk} \varphi_{sk} \leq \omega_{sn}, \quad (S=\overline{1, L}),$$

де 
$$\omega_{sn} = q_{sm} - q_{sn}; \quad \varphi_i \geq 0, \quad (i=\overline{1, K}).$$

## 8. Здійснення процедури регуляризації [19].

Сутність регуляризуючого алгоритму в цілому полягає в пошуку наближеного розв'язання задачі (5.52), за допомогою регуляризуючих алгоритмів, з використанням варіаційного принципу.

Задача лінійного програмування пов'язана з мінімізацією функції (5.52), а якщо досягає мінімуму лінійна форма  $L(\varphi)$ , то мінімальним значенням буде характеризуватись і квадратична форма:

$$L^2(\varphi) = (\sum P_i \varphi_i)^2. \quad (5.53)$$

Тобто процедура регуляризації зводиться до мінімізації деякої квадратичної форми.

Система рівнянь (5.45) в операторній формі має вигляд:

$$A \varphi = \omega. \quad (5.54)$$

Оскільки елементи матриці  $A$  відомі неточно, то вимога наближеного дотримання умов (5.54) відповідна введенню штрафних функцій:

$$N^2(\varphi) = \mu \|A\varphi - \omega\|^2 \quad \mu > 0, \quad (5.55)$$

$$\Omega^2(\varphi) = \lambda \sum_{i=1}^K P_i \varphi_i^2 \quad \lambda > 0, \quad (5.56)$$

де  $\mu, \lambda$  – параметри регуляризації.

В подальшому умова одержання регуляризуючого алгоритму зводиться до вигляду:

$$M(\varphi) = \left( \sum_{i=1}^K P_i \varphi_i \right)^2 + \mu (A\varphi - \omega)(A\varphi - \omega) + \lambda \sum_{i=1}^K P_i \varphi_i^2 \rightarrow \min. \quad (5.57)$$

Після ряду перетворень отримується система лінійних неоднорідних алгебраїчних рівнянь:

$$\sum_{j=1}^K d_{ij} \varphi_j = \eta_i, \quad (i=\overline{1, K}) \quad (5.58)$$

у яких коефіцієнти при невідомих і вільних членах системи лінійних неоднорідних алгебраїчних рівнянь визначаються:

$$d_{ij} = p_i p_j + \mu \sum_{v=1}^L a_{v_i} a_{v_j} + \lambda p_i \delta_{ij}, \quad (i, j = \overline{1, K}) \quad (5.59)$$

де  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера, а вільні члени правої частини:

$$\eta_i = \mu \sum_{v=1}^L a_{v_i} \omega_v, \quad (5.60)$$

де  $\mu, \lambda$  – параметри регуляризації

Коефіцієнти і праві частини (5.58) такої системи містять параметри регуляризації  $\mu, \lambda$ . Підбір цих параметрів здійснюється шляхом організації процедури ітерації з апіорним завданням початкових значень  $\lambda_0, \mu_0$ .

9. Організація ітераційної процедури з метою підбору параметрів регуляризації  $\mu, \lambda$  з апіорним завданням початкових значень  $\lambda_0, \mu_0$  для визначення параметрів  $\varphi_i$ .

На рис 5.5 наведена блок-схема задачі 5 – визначення алгоритму регулювання режиму роботи підприємств (Блок 5).

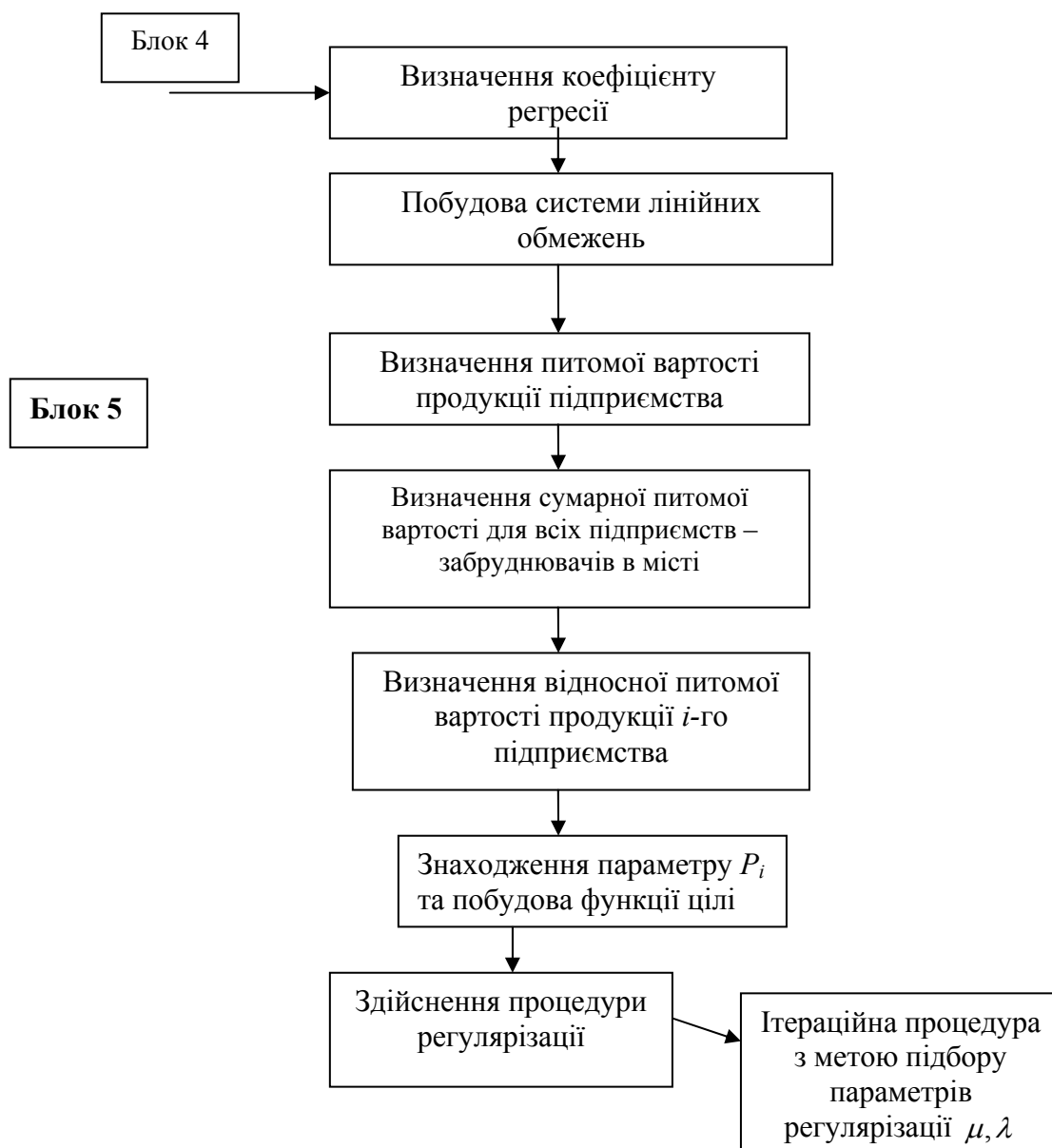


Рисунок 5.5 – Блок-схема задачі 5 (Блок 5).

## 5.2 Чисельний експеримент планування полів концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі м. Одеса

Методика регулювання рівнів забруднення атмосфери великого міста реалізована на даних поля концентрації діоксиду азоту в атмосфері міста при західному напрямку повітряного потоку. Як основні джерела забруднення повітря інгредієнтом розглядалися 8 підприємств, розташованих на території м. Одеса, які мають найбільші потужності викиду розглянутого інгредієнта. У табл. 5.1 містяться основні параметри цих джерел.

Як впливає з табл. 5.1 джерела викидів інгредієнта значно розрізняються не тільки по потужності викиду, але і по температурі газоповітряної суміші, швидкості її виходу з джерела, його висоті і діаметру.

Найбільш потужний викид здійснюється підприємством №8 на висоті 120м.

Дані, що містяться в табл.5.1 дають можливість знайти за формулами, наведеними у даному розділі, допоміжні параметри  $f_i$ ,  $v_i$ ,  $v'_i$ ,  $f_{li}$ ,  $m_i$ ,  $n_i$ . Їхні значення для кожного з підприємств містяться в табл. 5.2.

Дані табл.5.2 дозволяють розрахувати за формулами (5.15)-(5.26) положення точок максимуму концентрації, обумовленого викидами кожного джерела ( $x$ ,  $y$ ), значення концентрації інгредієнта в цих точках  $C_m$ , небезпечну з точки зору інтенсивності забруднення швидкість вітру  $u_m$  і поправку до неї  $l$ , а також значення технологічних параметрів  $\theta$  і функцій, що враховують умови турбулентної дифузії інгредієнта.

Таблиця 5.1– Характеристики джерел забруднення

Номер підприємства	Характеристики джерел забруднення						
	$M$ , г/с	$\omega_0$ , м/с	$T$ , °C	$H$ , м	$D$ , м	$\bar{x}$	$\bar{y}$
1	83,00	10,61	30,0	47,00	1,80	3,7	14,1
2	24,20	2,35	292,0	45,00	1,75	4,0	13,5
3	40,61	9,23	147,5	31,40	1,00	4,5	14,7
4	14,09	6,61	194,6	43,92	1,52	4,6	18,5
5	25,30	1,33	170,0	30,00	2,10	5,0	14,2
6	41,01	7,45	117,0	33,52	0,92	5,1	14,1
7	30,07	5,79	120,0	18,45	1,57	5,2	13,3
8	1583,70	6,89	137,2	120,00	5,78	7,0	17,3

Таблиця 5.2 – Значення проміжних параметрів

Номер підприємства	$f_i$	$v_i$	$v'_i$	$f_{li}$	$m_i$	$n_i$
1	3,058	1,679	0,528	117,920	0,747	1,053
2	0,016	2,160	0,119	1,342	1,300	1,000
3	0,586	2,107	0,382	44,641	0,970	1,000
4	0,177	2,444	0,297	21,041	1,108	1,000
5	0,024	1,928	0,121	1,418	1,275	1,001
6	0,388	1,681	0,266	15,026	1,020	1,053
7	1,288	2,715	0,641	210,216	0,867	1,000
8	0,139	3,843	0,431	64,242	1,132	1,000

Для проведення експерименту коефіцієнт турбулентності  $A = 200$ . Значення  $F$  і  $\eta$  бралися рівними одиниці, напрямок переносу повітря – 320°; модуль швидкості вітру – 5м/с; температура повітря – 0°С.

Оскільки координати точок максимуму концентрацій інгредієнта для кожного підприємства визначені, по апроксимаційних поліномах знаходилися значення кореляцій між концентраціями домішки в районах КВП і в точках максимуму концентрацій інгредієнта. Вони представлені в

табл.5.3, що містить, крім того, і значення середньоквадратичного відхилення концентрацій у точках максимуму  $\sigma_{C_m}$  і на КВП. Середньоквадратичні відхилення розраховувалися за формулами (5.36-5.41), які містять дисперсії потужності викиду  $\sigma_M^2$ , швидкості викиду газоповітряної суміші  $\sigma_W^2$  і її перегріву щодо незбуреного повітря  $\sigma_{\Delta T}^2$ .

Таблиця 5.3 – Коефіцієнти кореляції між концентраціями домішки в районах КВП і в точках максимуму концентрацій та середньоквадратичні відхилення

№ КВП	Номер джерела								$\sigma_q$
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0,48	0,49	0,54	0,56	0,56	0,57	0,56	0,68	0,047
2	0,62	0,62	0,67	0,69	0,68	0,68	0,67	0,73	0,051
3	0,71	0,71	0,74	0,73	0,74	0,74	0,73	0,68	0,065
4	0,78	0,78	0,80	0,80	0,80	0,79	0,78	0,68	0,071
5	0,68	0,70	0,71	0,67	0,72	0,72	0,73	0,66	0,065
6	0,67	0,67	0,72	0,78	0,72	0,72	0,71	0,71	0,065
7	0,04	0,06	0,07	0,02	0,10	0,11	0,12	0,26	0,028
8	0,58	0,60	0,62	0,60	0,64	0,65	0,65	0,69	0,054
$\sigma_{C_m}$	0,062	0,033	0,101	0,017	0,087	0,093	0,221	0,153	

Ясно, що дисперсії перерахованих параметрів можна знайти, якщо є статистичні ряди значень цих величин. Організувати такі виміри в наш час не можливо. Тому було прийнято, що  $\sigma_M$ ,  $\sigma_W$  і  $\sigma_{\Delta T}$  складають відповідно 5, 10 і 1 % від номінальних значень, наведених у табл. 5.1. Можна вважати, що обрані порядки зазначених середньоквадратичних відхилень є розумними.

Дані табл. 5.4 дозволили розрахувати за формулами коефіцієнти  $a_{ij}$  - системи лінійних обмежень (5.52). Результати наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.4 – Значення параметрів підприємств

Номер підприємства	Параметри										
	$g$	$\theta$	$C_m$	$\xi$	$d$	$d_x$	$d_y$	$x$	$y$	$u_m$	$l$
1	0,026	12,156	0,312	11,688	0,549	0,275	-0,476	3,975	13,624	1,7	0,5
2	0,060	2,744	0,164	11,018	0,496	0,248	-0,429	4,248	13,071	2,2	0,7
3	0,138	3,664	0,507	12,541	0,394	0,197	-0,341	4,697	14,359	2,3	0,7
4	0,066	1,296	0,086	12,663	0,556	0,278	-0,482	4,878	18,018	2,6	0,8
5	0,105	4,153	0,435	10,318	0,310	0,155	-0,268	5,155	13,932	1,9	0,6
6	0,108	4,293	0,463	10,019	0,336	0,168	-0,291	5,268	13,809	1,7	0,5
7	0,325	3,395	1,105	15,049	0,278	0,139	-0,240	5,339	13,060	3,1	0,9
8	0,005	161,367	0,763	15,713	1,886	0,943	-1,633	7,943	15,667	4,0	1,0

Таблиця 5.5 – Коефіцієнти системи лінійних обмежень

№ КВП	Номер джерела домішки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,36	0,71	0,25	1,54	0,30	0,29	0,12	0,21
2	0,51	0,97	0,34	2,03	0,40	0,38	0,16	0,24
3	0,74	1,41	0,48	2,77	0,55	0,52	0,21	0,29
4	0,89	1,69	0,56	3,29	0,65	0,61	0,25	0,32
5	0,71	1,39	0,45	2,54	0,54	0,51	0,21	0,28
6	0,70	1,34	0,46	2,93	0,54	0,51	0,21	0,30
7	0,32	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,05
8	0,51	0,99	0,32	0,33	0,40	0,38	0,16	0,24

Концентрації плану були задані, виходячи із міркувань: у районах, де спостерігаються найбільші концентрації домішки  $q_{\text{П}}$ , приймалася умова  $q_{\text{П}} = \text{ГДК}_{\text{сс}}$ ; в інших районах  $q_{\text{П}} = 0,8\text{ГДК}_{\text{сс}}$ , а в курортній зоні  $q_{\text{П}} = 0,6\text{ГДК}_{\text{сс}}$ .

У табл.5.6 наводяться значення максимальних концентрацій домішок, концентрацій плану, а також модальні значення концентрацій, що будуть використані у подальшому.

Таблиця 5.6 – Максимальні ( $q_m$ ), модальні ( $\bar{q}$ ) і планові ( $q_{\text{П}}$ ) значення концентрацій домішки ( $\text{мг}/\text{м}^3$ )

Пара- метр	Номер КВП							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_m$	0,300	0,320	0,390	0,400	0,400	0,400	0,100	0,320
$\bar{q}$	0,110	0,100	0,104	0,076	0,092	0,100	0,056	0,099
$q_{\text{П}}$	0,040	0,040	0,050	0,050	0,050	0,050	0,030	0,040

Наступний етап вирішення задачі полягає в побудові функції цілі. Якщо припустити, що підприємства працюють ритмічно, то фактор часу стає незначущим, і лінійна форма (5.58) набуває сенсу сумарних відносних втрат підприємств. На жаль, не було можливості одержати дані, які дозволяють визначити дійсні значення відносних вартостей  $b_i$  продукції всіх восьми підприємств. Тому ці величини були задані, виходячи з логічних розумінь.

Лінійна форма (5.58) перетворюється надалі в лінійну форму (5.59) для того, щоб вона містила ті ж змінні, що і система лінійних обмежень. Це зводиться до перерахування коефіцієнтів функції цілі за формулою (5.51). У табл. 5.7 наводяться коефіцієнти  $b_i$  і модифіковані значення  $P_i$ .

Таблиця 5.7 – Коефіцієнти функції цілі

	Номер джерела							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$b_i$	0,13	0,05	0,12	0,13	0,05	0,11	0,10	0,11
$P_i$	5,06	0,84	0,87	1,96	0,48	1,02	0,38	24,32

Як видно, сума усіх відносних питомих вартостей продукції підприємств дорівнює одиниці.

Цей етап завершується формулюванням задачі лінійного програмування (5.52, 5.53) з метою встановлення для підприємств таких технологічних параметрів  $\theta$ , які за умови мінімуму сумарних економічних утрат при даному типі атмосферних процесів обумовлять плановане поле концентрацій домішки.

Розв'язання канонічної задачі лінійного програмування (5.52, 5.53) проводилося за допомогою стандартної програми "Simli", в основу якої покладений симплекс-метод з використанням процедури регуляризації з параметрами регуляризації  $\lambda$  і  $\mu$ .

Коефіцієнти і праві частини рівнянь цієї системи містять параметри регуляризації  $\lambda$  і  $\mu$ . Таким чином, при різних  $\lambda$  і  $\mu$  система рівнянь (5.58) має різні значення. Тому в числовому експерименті була організована ітераційна процедура з апіорним завданням початкових значень параметрів регуляризації  $\lambda_0 = 0,5$ ;  $\mu_0 = 0,5$ . Кожна наступна ітерація полягала в зменшенні параметра  $\mu$  на  $\Delta\mu = 0,001$  при  $\lambda = \text{const}$ , обчисленні коефіцієнтів правої частини системи лінійних рівнянь і аналізі отриманих результатів. При даних значеннях параметрів регуляризації ( $\mu$  і  $\lambda$ ) знаходились значення концентрацій у точках їхнього максимуму  $C_{mi}(i = \overline{1, K})$ .

Насамперед, на основі розв'язків  $\varphi_i(i = \overline{1, K})$  системи рівнянь (5.58) за допомогою рівності (5.44) знаходилися оптимальні (при даних значеннях параметрів регуляризації ( $\mu$  і  $\lambda$ )) значення концентрацій у точках їхнього максимуму  $C_{mi}(i = \overline{1, K})$ . Підставляючи їх у рівняння регресії (5.43), знаходили значення  $q_s(S = \overline{1, L})$  концентрації домішки у кожному КВП, які порівнювались з концентраціями плану  $q_{\Pi}$ , значення яких представлені в табл. 5.5. При цьому необхідно враховувати наступні обставини. По-перше, коефіцієнти рівнянь регресії, на основі яких побудовані системи лінійних обмежень, а, звідси, і коефіцієнти системи лінійних рівнянь регуляризованої задачі, містять похибки, обумовлені похибками вимірів і, мабуть, також умовами, прийнятими при розрахунках середньоквадратичних відхилень концентрацій у точках максимуму. По-друге, фактичні поля концентрацій домішки формуються не тільки за рахунок розглянутих нами 8 джерел забруднення. Певну частку вносять і інші, більш слабкі джерела домішки, що при розв'язанні задачі не враховуються. Тому отримані результати варто вважати задовільними, якщо розв'язок регуляризованої задачі не перевищує рівня  $q_{\Pi} + \delta$ . У числовому експерименті бралось значення  $\delta = 0,4q_{\Pi}$ , тобто розв'язання вважалось задовільним, якщо отримані концентрації інгредієнта відрізнялися на кожному із КВП не більше, ніж на 40 % від концентрацій плану.



Результати оптимізації режиму роботи підприємств за умови

$$q_s \leq q_{\Pi} + \delta, \quad \forall S = \overline{1, L},$$

будемо умовно називати стратегією 1, а за умови

$$q_s < \overline{q}_s, \quad \forall S = \overline{1, L}$$

- стратегією 2.

У табл.5.8 наводяться значення максимальних концентрацій домішок, концентрацій плану, а також модальні значення концентрацій, що будуть використані у подальшому.

Таблиця 5.8 – Максимальні ( $q_m$ ), модальні ( $\overline{q}$ ) і планові ( $q_{\Pi}$ ) значення концентрацій домішки (мг/м<sup>3</sup>)

Пара-метр	Номер КВП							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$q_m$	0,300	0,320	0,390	0,400	0,400	0,400	0,100	0,320
$\overline{q}$	0,110	0,100	0,104	0,076	0,092	0,100	0,056	0,099
$q_{\Pi}$	0,040	0,040	0,050	0,050	0,050	0,050	0,030	0,040

У табл. 5.9 наводяться результати розв'язання регуляризованої оптимізаційної задачі щодо регулювання режиму роботи підприємств. Звертає увагу той факт, що при стратегії 1 із процесу регулювання виключаються підприємства: №№1; 4; 8. Пояснити це можна тим, що, по-перше, усім цим підприємствам приписана найбільша відносна питома вартість продукції (табл. 5.8).

По-друге, кожне з них має специфічні характеристики, що, треба думати, були враховані в процесі реалізації моделі. Наприклад, підприємство №8 має висоту труби 120 м, з устя якої зі швидкістю близько 7 м/с виходить газоповітряна суміш з перегрівом щодо незбуреного повітря, яке складає 137,2 °С. Ефективна висота джерела  $H_{ef}$  визначається, як відомо, співвідношенням

$$H_{ef} = H + \Delta H_{ef}, \quad (5.61)$$

де  $\Delta H_{ef}$  – висота підняття факела над устям джерела під дією сил плавучості.

Значення  $\Delta H_{ef}$  можна легко знайти, наприклад, за допомогою формули Брігса.

$$\Delta H_{ef} = 1,54 \left( \frac{F}{u \cdot u_*^2} \right)^{2/3} (H)^{1/3}, \quad (5.62)$$

де  $u$  – швидкість вітру на висоті джерела;  $u_*$  – динамічна швидкість вітру.

Параметр  $F$  визначається за співвідношенням

$$F = \frac{g}{T_u} \omega \frac{D^2}{4} \Delta T, \quad (5.63)$$

де  $g$  – прискорення сили тяжіння;

$T_u$  – температура газоповітряної суміші;

$D$  – діаметр устя труби;  $\omega$  – швидкість виходу газоповітряної суміші;

$\Delta T$  – перегрів газоповітряної суміші щодо навколишнього повітря.

Якщо взяти  $u_* = 0,33$  м/с, що відповідає середньому значенню динамічної швидкості на території великого міста, то розрахунки за співвідношеннями (5.70)-(5.72) дають для підприємства №8  $\Delta H_{ef} = 248$  м.

Отже, ефективна висота джерела складає 368 м.

Підприємство №1, навпаки, має  $\Delta H_{ef}$  усього 22 м, оскільки температура газоповітряної суміші складає лише 30 °С. Точка максимуму концентрації, обумовлена викидами цього підприємства, знаходиться на відстані 520 м від джерела, тобто в межах його санітарно-захисної зони. Воно виключається з процесу регулювання, оскільки має велику відносну питому вартість продукції ( $C = 0,13$ ;  $P = 5,063$ ).

Таблиця 5.9 – Результати оптимізації режиму роботи підприємств

Номер підприємства	$C_m$	$\bar{\theta}$	Стратегія 1 ( $q_s \leq q_{п} + \delta$ )				Стратегія 2 ( $q_s < \bar{q}_s$ )			
			$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\theta}, \%$	$\Delta\mu$	$\frac{\Delta\mu}{\mu}, \%$	$\Delta\theta$	$\frac{\Delta\theta}{\theta}, \%$	$\Delta\mu$	$\frac{\Delta\mu}{\mu}, \%$
1	0,312	12,156	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
2	0,074	1,238	1,51	55,0	17,89	73,3	1,17	42,8	13,95	57,6
3	0,495	3,581	0,08	2,3	0,86	2,1	0,12	3,4	1,28	3,2
4	0,086	1,295	0,00	0,0	0,00	0,0	0,90	70,0	12,1	85,8
5	0,268	2,561	1,59	38,3	14,86	58,7	0,51	12,2	4,73	18,7
6	0,387	3,591	0,70	16,3	5,93	14,5	0,17	3,9	1,41	3,4
7	0,980	3,010	0,38	11,4	4,30	14,3	0,07	2,0	0,76	2,5
8	0,763	161,367	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0

Підприємство №4 також характеризується великою відносною питомою вартістю продукції і має найменшу серед розглянутих підприємств потужність викиду.

З вищесказаного випливає, що добір "керуючою системою" об'єктів регулювання не є випадковим. Для інших "регульованих" підприємств, що мають меншу вартість продукції, одержані значення концентрацій у точках максимуму, які забезпечують плановане поле концентрацій при стратегіях 1 і 2 і відповідні їм технологічні параметри підприємств. Останні включають потужність викиду, витрати і перегрів газоповітряної суміші. У табл. 5.11 указується, наскільки необхідно зменшити технологічні параметри кожного підприємства при різних стратегіях. Видається, що зменшення технологічних

параметрів можна здійснити тільки за рахунок зменшення потужності викиду, оскільки і температура, і витрата газоповітряної суміші визначаються умовами технології виробництва. Якщо прийняти ці умови, то з рівності (6.22) випливає, що зменшення технологічного параметра  $\Delta\theta$  таким чином пов'язано зі зменшенням потужності викиду

$$\Delta M_i = (\omega_i \Delta T_i)^{1/3} \Delta \theta_i, \quad (i - \overline{1, K}). \quad (5.64)$$

У табл. 5.10 наводяться значення абсолютного і відносного зменшення потужності викиду кожного підприємства для стратегій 1 і 2. Видно, що для досягнення поля концентрацій при стратегії 1 необхідно приблизно на 2/3 скоротити викиди підприємства №2, трохи більше ніж на половину – підприємства №5; більш ніж на 14 % – підприємства №№6 і 7.

Таблиця 5.10 – Порівняльна оцінка двох методів регуляризації (стратегія 2)

Номер підприємства	Параметр $\theta$		
	регуляризація 1	регуляризація 2	$ \Delta\theta $
1	12,156	12,156	0,000
2	1,570	1,611	0,04
3	3,540	3,545	0,005
4	0,392	0,353	0,039
5	3,644	0,663	0,019
6	4,126	4,135	0,009
7	3,327	3,331	0,004
8	161,367	161,367	0,000

Якщо як верхню межу задовільних результатів взяти  $\phi_s$ , то це досягається значним ослабленням обмежень, які накладаються на технологічні параметри підприємств. Однак і в цьому випадку більш ніж на 50 % необхідно зменшити викиди підприємства №2 і більш ніж на 80 % – підприємства №4, яке при здійсненні "стратегії 1" входило до числа нерегульованих підприємств.

Для того, щоб одержати достовірні значення концентрації у вузлах регулярної сітки точок, необхідно істотно збільшити число КВП і розмістити їх так, щоб вони більш-менш рівномірно висвітлювали стан атмосфери на території всього міста, а не згруппувалися, як наприклад в Одесі, у районах, прилеглих до центральної частини міста. Крім того, необхідно мати дані, які характеризують дисперсію потужності викидів, витрати і перегріву газоповітряної суміші, реальні дані стосовно вартості продукції кожного підприємства тощо.

## ВИСНОВКИ

При вирішенні задачі оптимального регулювання режиму роботи промислових підприємств, з метою досягнення плануємого поля забруднення атмосферного повітря, важливим є вибір функції цілі. У якості останньої може бути прийнята відносна питома вартість продукції виробництва.

Задача оптимального регулювання режиму роботи промислових підприємств є некоректною задачею, оскільки є похибці у вихідній інформації, а також недоліки і недостача інформації щодо технічних і технологічних параметрів виробництва. Тому рішення зазначеної задачі можливе тільки за допомогою алгоритмів регуляризації.

На підставі розробленого математичного алгоритму побудований програмний модуль й виконаний чисельний експеримент на даних концентрації діоксиду азоту у атмосферному повітрі м. Одеса які вимірюються на КВП ГМЦ ЧАМ. У якості антропогенних джерел  $\text{NO}_2$  відібрано 8 підприємств, які мають викиди у атмосферу зазначеного інгредієнта. Розрахунки проводились при умові північно-західного – півничного переносу повітря зі швидкістю 5 м/с.

Результати експерименту дають підставу вважати, що розроблені моделі можуть бути підставою для розробки методів управління режимом роботи промислових підприємств з метою попередження значних забруднень атмосфери міста при відповідних метеорологічних умовах. Важливим є отримання об'єктивного поля забруднення атмосфери на підставі даних моніторингу. Суттєвим перешкодою для отримання оптимальних результатів для регулювання діяльності підприємств є відсутність інформації щодо мінливості технологічних характеристик джерел викидів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Беспаяток Г.К. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г.К. Беспаяток, Ю.А. Кротов. – Л. Химия, 1985. – 300 с.
2. Білявський Г.О. Практикум із загальної екології: Навч. посібник / Г.О. Білявський, Р.С. Фурдуй – К.: Либідь, 1997. – 150 с.
3. Боголюбова В.М. Моніторинг довкілля. – Вінниця: ВНТУ, 2010.– 232 с.
4. Бызова Н.Л. Рассеивание примесей в пограничном слое атмосферы. – М.: Гидрометеиздат, 1974. – 190 с.
5. Владимиров А.В. Охрана окружающей среды/ А.В. Владимиров, Ю.И. Ляхин, Л.Т. Матвеев, В.Г. Орлов – Л. Гидрометеиздат, 1991. – 418 с.
6. Гандин Л.С. Статистические методы интерполяции метеорологических данных/ Л.С. Гандин, Р.Л. Каган. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 387 с.
7. Гудериан Р. Загрязнение воздушной среды / Р. Гудериан – М.: 1979. – 199 с.
8. Дженкис Г. Спектральный анализ и его приложения / Г.Дженкис, Д. Ваттс – М.: Мир, 1971-72. – Т.1, 2. – 287 с.
9. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – К.:Вища школа, 1975. – 319 с.
- 10.Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Уч.пос. С-Пб.Химиздат, 1999. – 144 с.
- 11.Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.:Наука, 1978. – 512 с.
- 12.Лоева И.Д. Оптимизационная модель планирования уровня загрязнения атмосферы большого города. – Одесса: 1992. – 42 с.Деп. в УкрНИИТИ 10.02.1992 №3199.
13. Лоева І.Д. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря великого міста, (методи аналізу, прогнозу, регулювання): монографія / І.Д. Лоева, О.Г. Владимірова, В.А Верлан – Одеса: Екологія, 2010.–220 с.
14. Лоева І.Д. Методичні підходи до регулювання рівня забруднення атмосферного повітря промислових міст / І.Д. Лоева, М.О. Тимошук, П.Х Грудев // Міжвідомчий науковий збірник України «Метеорологія, кліматологія та гідрологія» . Вип. №51 Одеса, ТЕС, 2010, С. 112 – 120.
15. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий : ОНД-86. Госкомгидромет, – Л.: 1987. – 93 с.
- 16.Ровинский Ф.Я. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере / Ф.Я. Ровинский, В.Н. Егоров – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 236 с.
- 17.Серебряников И.Г. Выявление скрытых периодичностей / И.Г. Серебряников, А.А. Первозванский – Киев: Наука, 1965. – 241 с.

18. Совга Е.Е. Загрязняющие вещества и их свойства в природной среде: Учебное пособие для студентов географических факультетов университетов. – Севастополь, 2005. – 237 с.
19. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н.Тихонов, В.Я. Арсенин – М.: Наука, 1979. – 413 с.
20. Школьний Є.П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник/ Є.П. Школьний, І.Д. Лоева, Л.Д. Гончарова. – Одеса, 1993. – 600 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 - Перелік національних і міжнародних нормативно-правових актів з питань охорони атмосферного повітря

Назва документу	Дата прийняття	Номер
<b>Закони України</b>		
Конституція України	28.06.1996 р.	
Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»	25.06.1991 р.	1264-12
Закон України «Про охорону атмосферного повітря»	16.10.1992 р.	2708-12
Закон України «Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення»	24.02.1994 р.	4004-XII
Закон України "Про основи містобудування"	16.11.1992 р.	2780-XII
Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я»	19.11.1992 р.	2801-XII
Закон України «Про дорожній рух»	30.06.1993 р.	3353-12
Закон України «Про енергозбереження»	1.07.1994 р.	74/94-ВР
Закон України "Про транспорт"	10.11.1994 р.	232/94-ВР
Закон України «Про використання ядерної енергії і радіаційну безпеку»	08.02.1995 р.	30/95-ВР
Закон України "Про екологічну експертизу"	09.02.1995 р.	45/95-ВР
Закон України "Про пестициди і агрохімікати"	02.03.1995 р.	86/95-ВР
Закон України "Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату"	29.10.1996 р.	
Закон України «Про електроенергетику»	16.10.1997 р.	575/97-ВР
Закон України «Про альтернативні види палива»	14.01.2000 р.	1391-XIV
Закон України "Про автомобільний транспорт"	05.04.2001 р.	2344-III
Закон України «Про альтернативні джерела енергії»	20.02.2003 р.	555-IV
Закон України "Про ратифікацію Кіотського протоколу до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату"	04.02.2004 р.	
Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу»	05.04.2005 р.	2509-IV
Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо стимулювання заходів з енергозбереження»	16.03.2007	760-V
Податковий кодекс України	02.12.2010 р.	2755-VI
Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року»	21.12.2010 р.	2818-VI
<b>Укази Президента України</b>		
Указ Президента України "Про координатора заходів щодо виконання зобов'язань України за Рамковою конвенцією Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату та Кіотським протоколом до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату"	12.09.2005 р.	1239/2005

Назва документу	Дата прийняття	Номер
Указ Президента України «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 15 червня 2007 року Про стан та проблеми імплементації Україною Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату»	20.07.2007 р.	658/2007
Указ Президента України «Про Положення про Державну екологічну інспекцію України	13.04.2011 р.	454/2011
<b>Постанови і Розпорядження Кабінету Міністрів України</b>		
Про заходи щодо ефективного використання газу та інших паливно-енергетичних ресурсів в народному господарстві	2.09.1993 р.	699
Про Концепцію створення єдиної державної системи попередження та реагування на аварії катастрофи й інші надзвичайні ситуації	07.07.1995 р.	501
Про Перелік видів діяльності й об'єктів що створюють підвищену екологічну небезпеку	27.07.1995 р.	554
Про організацію виконання Монреальського протоколу по речовинах, що руйнують озонний шар	28.12.1995 р.	1062
Постанова Кабінету Міністрів України «Про посилення контролю за режимами споживання електричної і теплової енергії»	07.08.1996 р.	929
Про Програму припинення в Україні виробництва та використання озонруйнуючих речовин	17.10.1996 р.	1274
Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві»	15.07.1997 р.	786
Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля	30.03.1998 р.	391
Про питання регулювання експорту та імпорту озонруйнуючих речовин і продукції, що їх містить	30.03.1998 р.	393
Про затвердження Програми забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки транспортних засобів	06.04.1998 р.	456
Постанова Кабінету Міністрів України «Про державну експертизу з енергозбереження»	15.07.1998 р.	1094
Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря	09.03.1999 р.	№ 343
Про затвердження Програми поетапного припинення використання етилованого бензину в Україні	01.10.1999 р.	1825
Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню	29.11.2001 р.	1598
Про Порядок ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря	13.12.2001 р.	1655
Про затвердження Положення про порядок розроблення та затвердження нормативів гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел	28.12.2001 р.	1780



Назва документу	Дата прийняття	Номер
Про Порядок розроблення та затвердження нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря	13.03.2002 р.	299
Про Порядок розроблення і затвердження нормативів граничнодопустимого рівня впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел забруднення на стан атмосферного повітря	13.03.2002 р.	300
Про затвердження Порядку погодження і видачі дозволів на провадження діяльності, пов'язаної із штучними змінами стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях	13.03.2002 р.	301
Про затвердження Порядку проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку підприємств, установ, організацій та громадян - суб'єктів підприємницької діяльності, які отримали такі дозволи	13.03.2002 р.	302
Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря	13.03.2002 р.	303
Про посилення державного регулювання стосовно ввезення в Україну та вивезення з України озоноруйнуючих речовин	16.05.2002 р.	624
Про затвердження Порядку проведення перевірки екологічних показників нафтопродуктів, які реалізуються шляхом оптової та роздрібно торгівлі	14.04.2004 р.	№ 488
Про затвердження Національного плану заходів з реалізації положень Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату	18.08.2005 р.	346-р
Про затвердження Порядку розгляду, схвалення та реалізації проектів, спрямованих на зменшення обсягу антропогенних викидів або збільшення абсорбції парникових газів згідно з Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату	22.02.2006 р.	206
Постанова Кабінету Міністрів України «Питання Національного агентства з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів»	3.04.2006 р.	412
Про затвердження Порядку функціонування національної системи оцінки антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, які не регулюються Монреальським протоколом про речовини, що руйнують озоновий шар	21.04.2006 р.	554
Про утворення Національного агентства екологічних інвестицій України	12.04.2007 р.	612

Назва документу	Дата прийняття	Номер
Про схвалення Концепції формування енергетичного балансу	28.11.2007 р.	1058-р
Про затвердження Порядку розгляду, схвалення та реалізації проектів цільових екологічних (зелених) інвестицій у період дії зобов'язань сторонами Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату	22.02.2008 р.	221
Питання ввезення на митну територію України енергозберігаючих матеріалів, обладнання, устаткування та комплектуючих	14.05.2008 р.	444
Про операції з одиницями (частинами) установленної кількості	1.10.2008 р.	1294-р
Про схвалення пріоритетних напрямів діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження на 2008-2009 роки	16.10.2008 р.	1334-р
Про організацію державного контролю за ефективним (раціональним) використанням паливно-енергетичних ресурсів	22.10.2008 р.	№ 935
Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010-2015 роки	19.11.2008 р.	1446-р
Про укладення договору між Національним агентством екологічних інвестицій України та Організацією з розробки нових енергетичних та промислових технологій (Японія)	29.01.2009 р.	90-р
Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів	17.12.08 р.	1567-р
Питання організації виробництва та використання біогазу	12.02.2009 р.	217-р
Про першочергові заходи щодо скорочення обсягів споживання природного газу у період до 2010 року	19.02.2009 р.	256-р
Про внесення змін до Національного плану заходів з реалізації положень Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату	05.03.2009 р.	272-р
Про затвердження плану заходів щодо реалізації у 2009 році пріоритетних напрямів діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження	8.04.2009 р.	384-р
Про заходи щодо упорядкування видачі документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності	21.05.2009 р.	526
Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання подальшого розвитку вітроенергетики»	8.07.2009 р.	705
Про затвердження плану заходів з налагодження співпраці України та Японії з питань енергоефективності	19.08.2009 р.	1152-р
Про затвердження плану заходів, спрямованих на формування в суспільстві свідомого ставлення до необхідності підвищення енергоефективності, на 2010-2011 роки	25.11.2009 р.	1425-р

Назва документу	Дата прийняття	Номер
Про затвердження Технічного регламенту енергетичного маркування електрообладнання побутового призначення	06.01.2010 р.	5
Про операції з одиницями (частинами) установленої кількості	7.09.2011 р.	851-р
Про переліки товарів, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню та квот на 2012 рік	26.12.2011 р.	1360
Про затвердження Порядку проведення конкурсу із закупівлі товарів, робіт і послуг у рамках реалізації проектів цільових екологічних (зелених) інвестицій та заходів, пов'язаних з реалізацією таких проектів і виконанням зобов'язань сторін Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату за кошти, отримані від продажу частин встановленої кількості викидів парникових газів, та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України	16.07.2012 р.	672
<b>Накази міністерств та відомств</b>		
Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів»	19.06.1996 р.	173
Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження списків і введення в дію гігієнічних регламентів (ГДК та ОБРВ) у повітрі робочої зони, атмосферному повітрі населених місць та (ОДР) у воді водоймищ»	21.11.1997 р.	336
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі»	30.07.2001 р.	286
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про організацію робіт по розробленню та затвердженню нормативів гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел»	14.02.2002 р.	66
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Переліку речовин, які входять до "твердих речовин" та "вуглеводнів" і за викиди яких справляється збір»	14.03.2002 р.	104
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на державний облік об'єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря»	10.05.2002 р.	177
Наказ Державного комітету України з енергозбереження «Про затвердження Основних положень з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві»	22.10.2002 р.	112

Назва документу	Дата прийняття	Номер
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Інструкції про загальні вимоги до оформлення документів на провадження діяльності, пов'язаної із штучними змінами стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях»	24.12.2002 р.	517
Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України «Про затвердження Переліку типів устаткування, для яких розробляються нормативи гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел»	16.08.2004 р.	317
Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України «Про затвердження Інструкції про загальні вимоги до оформлення документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для підприємств, установ, організацій та громадян-підприємств»	09.03.2006 р.	108
Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел»	27.06.2006 р.	309
Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України «Про затвердження вимог до документів, у яких обґрунтовуються обсяги антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, для отримання листа-підтримки власником джерела викидів, на якому планується реалізація проекту спільного впровадження»	17.07.2006 р.	341
Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України «Про затвердження Вимог до підготовки проектів спільного впровадження»	17.07.2006 р.	342
Наказ Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів (НАЕР) «Про затвердження Порядку погодження НАЕР інноваційних та інвестиційних проектів впровадження енергозберігаючих технологій та технологій з виробництва альтернативних джерел палива, які реалізуються суб'єктами господарювання в рамках пільгового кредитування»	17.04.2007 р.	59
Наказ Національного агентства екологічних інвестицій України «Про затвердження вимог до документів, у яких обґрунтовуються обсяги антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, для отримання листа-підтримки власником джерела викидів, на якому планується реалізація	25.06.2008 р.	32

Назва документу	Дата прийняття	Номер
проекту спільного впровадження»		
Наказ Національного агентства екологічних інвестицій України «Про затвердження вимог до підготовки проектів спільного впровадження»	25.06.2008 р.	33
Наказ Державного комітету статистики України «Про затвердження Інструкції щодо заповнення форм державних статистичних спостережень про охорону атмосферного повітря № 2-ТП (повітря) "Звіт про охорону атмосферного повітря" (річна) та № 2-ТП (повітря) "Звіт про охорону атмосферного повітря" (квартальна)	20.10.2008 р.	396
Наказ Національного агентства екологічних інвестицій України «Про Порядок проведення національної інвентаризації антропогенних викидів із джерел та поглинання поглиначами парникових газів»	24.10.2008 р.	58
Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України «Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря»	10.12.2008 р.	639
Наказ Національного агентства екологічних інвестицій України «Про затвердження Інструкції про реалізацію проектів спільного впровадження за національною процедурою»	18.12.2008 р.	79
Наказ НАЕР «Про затвердження Порядку розрахунку та витрачання доходу, отриманого суб'єктами господарювання з виробництва електричної та/або теплової енергії, в частині здобутого шляхом впровадження за рахунок залучених інвестицій енергозберігаючих (енергоефективних) заходів та енергоефективних проектів сумарного скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів»	24.02.2009 р.	18
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Регламенту встановлення наявності або відсутності озоноруйнівних речовин у товарах, що плануються до ввезення або вивезення»	13.01.2012 р.	8
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про методичні рекомендації щодо практичного застосування конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище в транскордонному контексті»	15.02.2012 Р.	59
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження порядку внесення установ, організацій та закладів, які здійснюють розробку документів, що обґрунтовують обсяги викидів для підприємств, установ, організацій та громадян - суб'єктів підприємницької діяльності, до	01.10.2012 р.	475

Назва документу	Дата прийняття	Номер
переліку Мінприроди України»		
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження інформаційних та технологічних карток адміністративних послуг з видачі Міністерством екології та природних ресурсів дозволу на викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами для об'єктів першої групи, дозволу на провадження діяльності, пов'язаної зі штучними змінами стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях та внесення організації до Переліку установ, організацій та закладів, яким надається право на розробку документів, що обґрунтовують обсяги викидів для підприємств, установ, організацій та громадян - суб'єктів підприємницької діяльності»	28.05.2013 р.	237
Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження інформаційних та технологічної карток адміністративних послуг з видачі міністерством екології та природних ресурсів України дозволу на транспортування отруйних речовин, у тому числі продуктів біотехнології та інших біологічних агентів»	04.09.2013 р.	379

#### Міжнародні акти з питань охорони атмосферного повітря

Назва документу	Дата, місто прийняття
Конвенція про заборону військового чи будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище	18.05.1977 р. (Женева)
Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	13.11.1979 р. (Женева)
Протокол про фінансування Спільної програми спостережень та оцінки розповсюдження забруднювачів на великі відстані в Європі(ЕМЕП) до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані 1979 р.	28.09.1984 р. (Женева)
Віденська конвенція про охорону озонового шару	22.03.1985 р. (Відень)
Протокол до Конвенції трансграничне забруднення повітря на великі відстані про скорочення викидів сірки або їх транскордонних потоків принаймні на 30 відсотків до Конвенції 1979 року про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	08.07.1985 р. (Відень)
Конвенція про оперативне оповіщення про ядерну аварію	26.09.1986 р. (Відень)
Конвенція про допомогу у випадку ядерної чи аварії радіаційної аварійної ситуації	26.09.1986 р. (Відень)
Монреальський протокол по речовинах, що руйнує	16.09.1987 р.

<i>Назва документу</i>	<i>Дата, місто прийняття</i>
озоновий шар	(Монреаль)
Протокол по важким металам до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	07.08.1988 р.
Протокол про обмеження викидів окислів азоту або їх транскордонних потоків до Конвенції 1979 року про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	1.11.1988 р. (Софія)
Поправки до Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар	29.06.1990 р. (Лондон)
Конвенція про оцінку впливу на навколишнє природне середовище у трансграничному контексті	25.02.1991 р. (Еспо)
Конвенція про транскордонний вплив промислових аварій	17.03.1992 р. (Хельсинки)
Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату	09.05.1992 р. (Ріо-де-Жанейро)
Киотський протокол до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату	11.12.1997 р. (Киото)
Протокол по стійким органічним забруднювачам (СОЗ) до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані	24.06.1998 р. (Орхус)
Угода про грант Всесвітнього екологічного траст-фонду (Проект вилучення речовин, що руйнують озоновий шар) між Україною та Міжнародним банком реконструкції та розвитку, що виступає як впроваджувальна установа Трастового фонду Всесвітнього екологічного фонду	15.09.1998 р. (Вашингтон)
Протокол про боротьбу з підкисленням, евтрофікацією і приземним озоном до Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані 1979 року	30.11.1999 р. (Гетеборг)
Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі	22.05.2001 р. (Стокгольм)