

КЕРІВНИЙ ДОКУМЕНТ

ОХОРОНА ПРИРОДИ. АТМОСФЕРА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО
ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ РІВНІВ
ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В МІСТАХ УКРАЇНИ**

Видання офіційне

Державна гідрометеорологічна служба

Київ

2010

ПЕРЕДМОВА

1. РОЗРОБЛЕНО Українським науково-дослідним гідрометеорологічним інститутом (УкрНДГМІ)
2. ЗАТВЕРДЖЕНО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ наказом Держгідромету від “14” грудня 2010р., № 77
3. На заміну “Методических указаний по прогнозу загрязнения воздуха в городах” (Л., Гидрометеоиздат, 1979) и РД 52.04.78-86 “Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий” – М. - 1986
- 4 РОЗРОБНИКИ: **Кіптенко Є.М.**, к.г.н. (керівник розробки), **Козленко Т.В.** (УкрНДГМІ), **Загорна А.І.**, **Щербуха. Л.С.** (УкрГМЦ)

В основу цих Методичних вказівок було покладено російськомовні видання таких документів: “Методические указания по прогнозу загрязнения воздуха в городах” (Л., Гидрометеоиздат, 1979)” та РД 52. 04. 78 – 86 “Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха с учетом метеорологических условий” – М.– 1986,” перероблені відповідно до вимог Закону України “Про гідрометеорологічну діяльність” від 18 лютого 1999 р. та практики щодо організації та проведення метеорологічних спостережень в Україні.

Цей КД не може бути повністю або частково відтворений, тиражований та розповсюджений без дозволу Держгідромету

ЗМІСТ

	С.
Вступ	
1. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	1
2. НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ	1
3. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	2
4. НАУКОВІ ПРИНЦИПИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В МІСТАХ З УРАХУВАННЯМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ	3
4.1. Основа статистичного методу прогнозу забруднення повітря	3
4.2. Основні чинники, що зумовлюють режим забруднення атмосферного повітря	4
5. ПОКАЗНИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ	5
5.1. Розраховування показника забруднення повітря	5
5.1.1. Параметр Q	5
5.1.2. Коефіцієнти розкладання за ортогональними природними функціями	6
5.1.3. Параметр P	7
5.1.4. Групи рівнів забруднення повітря	8
6. МЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	9
6.1. Загальні засади	9
6.2. Напрямок та швидкість вітру	10
6.3. Турбулентне перенесення	12
6.4. Температура атмосферного повітря	13
6.5. Синоптичні умови забруднення атмосферного повітря	13
6.6. Опади, тумани	16
6.7. Інерційний фактор	16
7. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ	17
7.1. Рекомендації щодо розроблення схем	17
7.2. Відбирання предикторів	17
7.3. Удосконалена схема прогнозу забруднення атмосферного повітря з використанням інформативних комплексних предикторів	19
7.4. Деякі прогностичні правила	20
8. ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ОКРЕМИХ ДЖЕРЕЛ ТА ГРУПИ ДЖЕРЕЛ	23
8.1. Метеорологічні умови забруднення атмосферного повітря	
8.1.1. Розраховування небезпечної швидкості вітру та максимальної концентрації домішок	23
8.1.2. Аномально несприятливі метеорологічні умови	27
8.2. Прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря від окремих джерел та групи джерел	28
8.2.1. Встановлення несприятливих метеорологічних умов щодо окремих джерел	28
8.2.2. Характерні комплекси НМУ для групи джерел	29
9. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ПІД ЧАС РОЗРОБЛЮВАННЯ СХЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ	32
9.1. Метод множинної регресії	32
9.2. Розроблювання схем прогнозування забруднення повітря в місті методом послідовної графічної регресії	34
9.3. Використання методу розпізнавання образів	48
10. ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗАГАЛОМ ПО МІСТУ	50
10.1. Схема прогнозування метеорологічних умов забруднення атмосфери	50
10.2. Визначання типу синоптичної ситуації	52
10.3. Визначання товщини шару термодинамічного перемішування	52

10.4. Синоптичний спосіб прогнозування ізобаричної поверхні 925 гПа	53
10.5. Прогнозування температури та дефіциту насичення на рівні 925 гПа	53
10.6. Прогнозування вітру на ізобаричній поверхні 925 гПа та біля поверхні землі	59
10.7. Визначення середньої швидкості вітру в шарі термодинамічного перемішування	59
11. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ	61
11.1. Складання оперативного прогнозу забруднення повітря від окремих джерел	61
11.2. Складання оперативного прогнозу забруднення повітря загалом по місту	62
12. СКЛАДАННЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ У РАЗІ НЕБЕЗПЕЧНИХ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	63
12.1. Складання попередження для окремих джерел викидів	63
12.2. Складання попередження по місту	64
13. ТЕРМІНОЛОГІЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ СПРАВДЖУВАНOSTІ ПРОГНОЗІВ І ПОПЕРЕДЖЕНЬ ПРО ВИСОКИЙ РІВЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	66
13.1. Термінологія та оцінювання справджуваності прогнозів і попереджень про високий рівень забруднення повітря щодо окремих джерел	66
13.2. Термінологія та оцінювання справджуваності прогнозів МУЗ та прогнозів забруднення повітря і попереджень щодо високого рівня забруднення повітря загалом по місту.	67
14. РЕГУЛЮВАННЯ ВИКИДІВ ЗА НЕСПРИЯТЛИВИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ	70
14.1. Основні принципи розроблення заходів щодо регулювання викидів	70
14.2. Визначання необхідного зниження рівня забруднення повітря і скорочення викидів під час НМУ	71
14.2.1. Окремі джерела та групи джерел	71
14.2.2. Загалом по місту	72
15. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ НА ОСНОВІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА КОНЦЕНТРАЦІЯМИ ДОМІШОК У ПОВІТРІ	74
Додаток А. Бібліографія	75

ВСТУП

Прогнозування забруднення повітря набуває все більшої актуальності в умовах, коли найважливішим завданням є покращення екологічного стану в сучасних містах шляхом зниження викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами та автотранспортом. Проте до цього часу в багатьох містах України не прогнозують забруднення, тому що немає методик, які давали б змогу оперативно й своєчасно прогнозувати забруднення та заздалегідь попереджати підприємства про очікуваний небезпечний для населення рівень забруднення. Особливо необхідними стають такі попередження в періоди, коли утворюються несприятливі метеорологічні умови, що сприяють накопиченню шкідливих домішок у приземному шарі повітря. Метою цієї розробки є спроба викласти основні принципові проблеми щодо синоптико-статистичного прогнозування забруднення атмосферного повітря та методи їхнього практичного використання.

Останнім часом екологи України розробили чимало складних комплексних природоохоронних програм. Їхнє здійснення потребує великих капітальних коштів і тривалого часу. За цих умов вже зараз можна покращити стан повітряного басейну міст України, короткочасно знижуючи викиди в періоди несприятливих метеорологічних умов. Із цієї позиції важливість прогнозів щодо забруднення повітря є очевидною.

Успішне вирішення завдань метеорологічного прогнозування рівнів забруднення повітря ґрунтується на врахуванні фізичних особливостей розповсюдження домішок в атмосфері й зв'язків між концентраціями домішок та метеорологічними величинами. На базі відповідних матеріалів конкретних міст для кожного сезону розробляють прогностичні схеми і правила прогнозування можливих змін рівня забруднення атмосферного повітря залежно від атмосферних процесів. Такими матеріалами є дані спостережень за вмістом в атмосферному повітрі діоксиду сірки, діоксиду азоту, оксиду вуглецю, пилу, а також специфічних домішок (фенолу, аміаку, хлору, формальдегіду тощо) на стаціонарних пунктах Державної системи гідрометеорологічних спостережень.

Виконані дослідження [3, 4, 14-16, 20] вказують на потребу розробити два види прогнозів забруднення атмосферного повітря. Один з них стосується окремих джерел, а інший – міста загалом, де внаслідок накладання і перемішування викидів багатьох джерел формується фоновий вміст забруднювальних домішок в атмосферне повітря і який під впливом метеорологічних умов змінюється одночасно над містом.

Методики прогнозування забруднення повітря від поодиноких джерел універсальні. Їх можна використовувати для прогнозування стану повітря в районах з однорідними умовами розсіювання викидів у містах. Прогностичні схеми для фонових концентрацій забруднювальних речовин розробляють для кожного міста окремо, враховуючи емісійні характеристики джерел, режим забруднення повітря в місті та метеорологічні умови.

Запропонований керівний документ розроблено з урахуванням таких нормативних документів: “Методических указаний по прогнозу загрязнения воздуха в городах” (Л., Гидрометеиздат, 1979); РД 52.04.52-85 „Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий” (М., 1986); РД 52.04.52-85 „Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях” (Л., Гидрометеиздат, 1987) та нормативного документу “ОНД-86 “Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий”.

Автори також врахували дослідження наукових центрів ГГО ім. О.І. Воєйкова, ГМЦ Росії [1-9, 19, 24-27], Одеського державного екологічного університету [12], досвід наукової та практичної роботи УкрНДГМІ в галузі прогнозування рівня забруднення атмосфери [11,12,20,21,22], а також досвід оперативної роботи з прогнозування забруднення повітря організацій Державної гідрометеорологічної служби.

КЕРІВНИЙ ДОКУМЕНТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО
ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ РІВНІВ
ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В МІСТАХ УКРАЇНИ**

Чинний від 01.09.2013р.**1. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Керівний документ визначає методи і порядок складання МУЗ та прогнозування забруднення приземного шару атмосферного повітря в населених пунктах (далі — забруднення повітря).

Положення та вимоги цього документа поширюються на організації, підприємства, установи державної гідрометеорологічної служби, які здійснюють гідрометеорологічне забезпечення та на спеціально уповноважені органи з питань регулювання викидів, розроблення та виконання природоохоронних заходів щодо захисту атмосфери у випадках несприятливих метеорологічних умов.

2. НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому документі наведено посилання на такі документи:

– РД 52.04.78-86 “Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха с учетом метеорологических условий”. – М., 1986.

– “Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий”. (ОНД-86), Гидрометеиздат, 1986.

– РД 52.04.52-85 “Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях”. - Л., Гидрометеиздат, 1987.

3. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

У цьому керівному документі використано терміни і скорочення:

предиктант – показник забруднення повітря, який виражений параметрами Q , a , або P ;

предиктори – характеристики, на основі яких складають прогноз, а саме: метеорологічні величини та попереднє значення вмісту забруднювальних домішок в атмосферному повітрі, що спостерігались у населених пунктах.

АВЗП – аномально високе забруднення повітря

ГГО – Головна геофізична обсерваторія ім. О.І. Воєйкова

УкрНДГМІ - Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут

УкрГМЦ – Український гідрометеорологічний центр

КЛСЗПС – комплексна лабораторія спостереження за забрудненням природного середовища

НМУ – несприятливі метеорологічні умови

МУЗ – комплексний показник метеорологічних умов забруднення повітря, який є сумою предикторів у балах

МУВЗ - метеорологічні умови високого забруднення

ЗР – забруднювальна речовина (забрудник)

4. НАУКОВІ ПРИНЦИПИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В МІСТАХ З УРАХУВАННЯМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ

Розвиток методів прогнозування щодо забруднення атмосферного повітря ґрунтується на результатах теоретичних і експериментальних досліджень закономірностей поширення домішок від забруднювальних джерел [2-5].

Умовно можна виділити три напрямки методів прогнозування щодо забруднення атмосферного повітря. Перший з них базується на теорії турбулентної дифузії в атмосферному повітрі та рівнянь дифузії [2], другий — на числовому вирішенні рівнянь гідродинаміки атмосферного повітря; третім шляхом вивчення забруднення атмосфери є статистичні методи, що мають найбільше поширення на території України.[4, 6, 8-27].

4.1. Основа статистичного методу прогнозування забруднення повітря

Перевагою статистичних методів прогнозування є те, що в їхній основі лежать фактичні дані систематичних спостережень за забрудненням атмосферного повітря на стаціонарних постах протягом ряду (не менше трьох) років. Вони дають змогу врахувати особливості забруднення конкретного міста і побудувати на основі реальної картини прогностичну схему, залучивши фізичні і теоретичні підходи і використавши об'єктивні методи статистичного аналізу. Статистичні методи потребують великий обсяг інформації (>200 визначень на рік), щоб забезпечити стійкіші й репрезентативні результати спостережень.

Основою статистичного методу прогнозування забруднення атмосферного повітря міста є дані про:

- забруднення повітря;
- метеорологічні умови.

Цей метод дозволяє на фактичному матеріалі постійних багаторічних спостережень за забрудненням атмосферного повітря в конкретних містах вивчити структуру забруднення атмосфери, а саме:

- провести аналіз метеорологічних умов у періоди високого рівня забруднення;
- побудувати “розу” вітрів забруднення для міста;
- відібрати статистично значущі фактори забруднення атмосфери за різних метеорологічних умов;
- провести районування території міста щодо рівнів забруднення атмосфери.

Отримана інформація про особливості забруднення конкретних міст дозволяє побудувати прогностичні схеми на основі результатів реальних спостережень.

4.2. Основні чинники, що зумовлюють режим забруднення атмосферного повітря

До основних чинників, що зумовлюють режим забруднення атмосфери, належать:

- техногенні (емісійні) параметри джерел викидів;
- топографічні (ландшафтні) особливості території;
- метеорологічні величини.

Техногенні й топографічні чинники - це постійні або такі, що змінюються повільно; для метеорологічних величин, навпаки, характерна значна мінливість і вони сприяють розповсюдженню домішок від джерел викидів.

Обсяг та інтенсивність надходження в атмосферу забруднювальних речовин визначають техногенні параметри джерел викидів (кількість труб та їхнє розміщення; висота та діаметр їхнього гирла) і характер емісії (валовий викид, температура та швидкість викиду, фізико-хімічний склад речовин тощо).

Дані про джерела викидів отримують унаслідок проведення інвентаризації, результати якої подають до томів ГДВ та екологічних паспортів підприємств.

Від ландшафтних особливостей району прогнозування (рельєфу, характеру забудови, наявності водойм, лісових масивів тощо) залежить ступінь однорідності розповсюдження домішок; здатність їх до накопичення (переважно в увігнутих формах рельєфу) або до інтенсивного розсіювання (над підвищеними територіями).

Залежність забруднення атмосфери від метеорологічних умов неоднозначна — її визначають за особливостями спільного впливу перерахованих вище чинників.

У формуванні поля забруднення від окремих джерел погодні умови, як і емісійні параметри, є визначальними, при цьому до числа основних метеорологічних величин, від яких залежить інтенсивність розповсюдження домішок, належать: режим вітру й температурна стратифікація атмосфери.

Швидкість вітру, стійко-стратифікована атмосфера й тумани можуть створювати несприятливі умови для розсіювання домішок і сприяти їхньому накопичуванню й зростанню приземних концентрацій [2 - 5, 7, 15].

Вплив метеорологічних величин на розсіювання домішок у різних населених пунктах неоднорідний. По-перше, розсіювальна здатність атмосфери на території України неоднакова, по-друге, у кожному із цих пунктів одночасно функціонують джерела різної висоти, що викидають газові домішки неоднакової температури. У зв'язку із чим під час однотипних погодних процесів у різних містах часто можна спостерігати суттєві відмінності режиму забруднення повітря, тому є потреба розроблення прогностичної схеми для кожного міста окремо.

Метеорологічні величини району прогнозування отримують з найближчих метеорологічних станцій та пунктів висотного радіозондування.

5. ПОКАЗНИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

5.1. Розраховування показника забруднення повітря

Унаслідок антропогенного впливу в містах формується фоновий уміст забруднювальних речовин, як результат одночасного впливу різних за емісійними характеристиками джерел викидів. Уміст приземних концентрацій залежить від обсягів домішок, що надходять, режиму викидів та взаємного розміщення джерел викидів. За наявності кількох джерел викидів відбувається накладання окремих викидів і утворюється сукупний факел, який поширюється майже над усім містом. Просторова структура такого факела складна, разові концентрації домішок у різних частинах міста можуть суттєво відрізнятися, тому для прогнозу використовують середні концентрації ЗР за добу.

Забруднення атмосфери під впливом метеорологічних умов може змінюватися одночасно на всій території міста. Воно характеризується узагальненими (інтегральними) показниками, які розраховують за матеріалами фактичних спостережень на стаціонарних постах забруднення атмосферного повітря.

Метеорологічні умови, які сприяють високому рівню забруднення повітря, потрібно вивчати в кожному місті окремо на основі фактичного матеріалу спостережень за забрудненням атмосферного повітря. Спостереження за забрудненням атмосферного повітря проводять на стаціонарних постах Державної системи гідрометеорологічних спостережень.

Для прогнозу використовуються результати відбору проб на різні домішки, які отримують протягом одного дня, при 2-4 разових спостереженнях. За цими даними розраховують узагальнені показники забруднення повітря в місті за півдобу, добу.

5.1.1. Параметр Q . Найпоширенішими показниками забруднення повітря вважають нормовану середню концентрацію домішки Q (параметр Q), коефіцієнт розкладання за природними ортогональними функціями (a) і відношення кількості значно підвищених концентрацій (відносно середнього значення) до загального числа вимірів протягом дня (параметр P) [4, 15, 24-27].

Параметр Q визначають за такою формулою:

$$\bar{Q} = \frac{\bar{q}}{q_{\text{сеп}}}, \quad (5.1)$$

де $\bar{Q}$ – нормована середня концентрація в місті;

$\bar{q}$ – середня по місту концентрація домішки за день або частину дня, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$,

$$\bar{q} = \frac{1}{N} \cdot \sum q_i, \quad (5.2)$$

де q_i – концентрація домішки на посту i ; N – кількість вимірів однієї домішки за всі строки i на всіх постах.

Значення $q_{сер.}$ визначають як середню з трьох середніх місячних значень концентрацій зимового або літнього сезону.

Приклад

Для літнього сезону $q_{сер.}$ по місту в цілому розраховують за такою формулою:

$$q_{сер} = \frac{q_{сер.YI} + q_{сер.YII} + q_{сер.YIII}}{3}, \quad (5.3)$$

де $q_{сер.}$ - середня концентрація загалом по місту за сезон, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$q_{сер.YI}$ - середня концентрація загалом по місту за червень, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$q_{сер.YII}$ - середня концентрація загалом по місту за липень, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$q_{сер.YIII}$ - середня концентрація загалом по місту за серпень, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Розраховані таким чином значення $\bar{Q}$ використовують для розроблювання прогностичних схем. У разі оперативного прогнозування рівнів забруднення повітря неможливо знати середнє за сезон значення концентрації домішок до закінчення сезону. Для щоденного оперативного розраховування параметра $\bar{Q}$ рекомендовано враховувати середній рівень забруднення повітря впродовж відповідного тримісячного періоду попереднього року, де місяць, що прогнозується, займає середину, та місяця, що передує даному місяцю року. Наприклад, щоб розрахувати $\bar{Q}$ у грудні 1998 р., треба знайти $q_{сер.}$ як середню величину середніх місячних концентрацій листопада і грудня 1997 р., січня 1998 р. й листопада 1998 р.

5.1.2. Коефіцієнти розкладання за ортогональними природними функціями

Іншим показником може бути коефіцієнт при першому члені розкладання даних спостережень за концентраціями забруднювальних домішок на стаціонарних пунктах у місті за ортогональними природними функціями (a_i), який розраховують за формулою :

$$a_i = \sum_{i=1}^N \phi 1_i \cdot q'_i, \quad (5.4)$$

де $\phi 1_i$ - компоненти природної функції i , кожного стаціонарного пункту;

q'_i - відхил від середньої за сезон концентрації домішки на пункті i в заданий момент часу;

N - кількість стаціонарних пунктів у місті.

Коефіцієнт розкладання при першому члені a_1 наближено характеризує процес одночасного зростання або зниження концентрацій домішок в атмосфері міста в цілому. Цей коефіцієнт містить найбільшу інформацію про мінливість концентрацій, він є близьким до параметра P і до середньої по місту концентрації домішки.

Коефіцієнт a_2 найчастіше характеризує процес перенесення забрудненого повітря по місту. Наступні коефіцієнти характеризують інші особливості забруднення повітря міста. Внаслідок ортогональності природних функцій коефіцієнти розкладання a_i статистично незалежні, тому прогнозування кожного з них незалежне один від одного. Встановлено, що для задовільного опису поля концентрацій домішки достатньо використати перші 2 - 3 члени розкладання.

5.1.3. Параметр P . Подібним за фізичним значенням до середньої по місту нормованої концентрації домішки Q і до коефіцієнта a_i є параметр P :

$$P = \frac{m}{n}, \quad (5.5)$$

де n - загальна кількість спостережень за концентрацією домішок у місті протягом дня на всіх стаціонарних постах;

m - кількість спостережень протягом цього дня з концентраціями (q), що перевищують середню сезонну концентрацію більше як у 1,5 разів ($q > 1,5 q_{сер.}$).

Параметр P характеризує частину значно підвищених концентрацій від загальної кількості вимірювань концентрацій домішок протягом дня.

Для одержання щоденних значень параметра P спочатку розраховують середні за сезон величини концентрацій домішок для кожного стаціонарного пункту. Розрахунки середніх величин концентрацій проводяться окремо для кожного року. За весь ряд спостережень вибирають одиничні концентрації, величини яких перевищують $1,5 q_{сер.}$ Для кожного дня розраховують значення m , n і P .

Параметр P рекомендовано розраховувати як окремо для кожної домішки, так і для сукупності домішок. Значення $q_{сер.}$ для розроблення прогностичних схем розраховують за формулою (5.3). Розраховуючи параметр P , не потрібно враховувати концентрації домішок, які потрапляють в атмосферу від невеликої кількості високих джерел. Для цих джерел НМУ можуть відрізнятися від НМУ по місту в цілому. Це стосується насамперед специфічних домішок (таких, як фенол, формальдегід, сірководень тощо), які вимірюють у місті на окремих постах.

Під час оперативного прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря неможливо знати середні за сезон значення концентрації домішки до закінчення сезону. Тому для щоденного оперативного розраховування параметра P рекомендується обчислювати $q_{сер.}$ так само, як для Q і a_1 . Параметр P може змінюватися від 0 (коли будь-яка концентрація не перевищує $1,5 q_{сер.}$) до 1 (усі вимірювані концентрації перевищують $1,5 q_{сер.}$).

Неодмінною умовою для розраховування параметра P є наявність у місті трьох і більше постів спостережень і щоб загальна кількість спостережень за концентраціями домішок на всіх постах протягом дня була не менша ніж 20.

Показники Q , α_1 і P є відносними характеристиками і не залежать від середнього рівня забруднення повітря. Отже, їх значення в основному зумовлюються метеорологічними умовами. У зв'язку з цим можна використовувати значення вищезгаданих параметрів за кілька років, незважаючи на те, що протягом цих років спостерігали зміни сумарної кількості викидів та рівня концентрацій.

5.1.4. Групи рівнів забруднення повітря. Потрібно прогнозувати групи рівнів забруднення повітря [4, 24]. Для рекомендацій щодо зниження викидів за несприятливих метеорологічних умов найважливішою є група високого рівня забруднення повітря. Групи забруднення визначають за табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Групи рівнів забруднення атмосфери, найхарактерніші для міст

Номер групи	Градації параметрів		Характеристика рівнів забруднення	Середня повторюваність, %
	Q	P		
I	≥ 1.4	> 0.35	відносно високе	10
II	0.8 - 1.3	0.21 - 0.35	підвищене	40
III	≤ 0.7	≤ 0.20	низьке	50

Градації потрібно уточнювати в кожному конкретному місті окремо. Якщо статистичний розподіл параметрів Q і P відрізняється від того, що подано в табл. 5.1, границі між групами можуть бути іншими. Наприклад, у місті Маріуполі у зв'язку з підвищенням фону забруднення повітря, було змінено градації оцінки групи рівнів забруднення параметра Q (для окремих домішок ці значення можуть змінюватися) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Групи рівнів забруднення повітря атмосфери, характерні для міста Маріуполь. Зима

Номер групи	Градація параметра Q	Характеристика рівнів забруднення повітря	Середня повторюваність, %
I	≥ 1.5	відносно високе	10
II	0.9 - 1.4	підвищене	40
III	≤ 0.8	низьке	50

Головне полягає в тому, щоб зберігати приблизне дотримання вказаної повторюваності: 10% для I групи, 40% для II групи, 50% для III групи. Так само розподіляють на групи значення α_1 і P .

Поряд з трьома групами передбачають окремо випадки аномально високого забруднення повітря (АВЗП), що має повторюваність 2% найвищих значень Q , P або α_1 [27].

6. МЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

6.1. Загальні засади

Основний принцип досліджень щодо прогнозування забруднення повітря в місті, зокрема розроблювання статистичних схем прогнозування забруднення повітря, це максимально врахувати характер фізичного процесу розповсюдження домішок в атмосфері та особливості впливу метеорологічних умов на концентрації домішок у повітрі. Вплив метеорологічних величин на забруднення повітря має складний характер. Аналіз раніше розроблених методик щодо прогнозування забруднення повітря показав, що зв'язки між рівнями концентрацій та метеорологічними величинами в ряді міст схожі. Це можна пояснити тим, що спостерігається деяка схожість у структурі викидів і використанні під час виконання розробок характеристик узагальненої складової забруднення повітря в місті. Але, якщо структура викидів нестандартна, особливо коли головні джерела викидів розміщені, головним чином, в одній частині міста або за його межами, характер зв'язку між концентраціями й метеорологічними величинами може мати свої особливості [2-7, 14-19].

Одним з важливих етапів побудови статистичної прогностичної схеми є формування складу предикторів. Вони повинні характеризувати головні метеорологічні величини, які визначають рівень забруднення повітря в місті, та попереднє забруднення. Головним принципом є вибір предикторів за матеріалами спостережень у конкретному місті з урахуванням щільності та реального виду зв'язків між метеорологічними величинами й концентраціями домішок атмосферного повітря. Під час розроблювання прогностичної схеми предиктори заздалегідь не задають. З багатьох можливих предикторів відбирають ті, що найбільше відображають фізичні закономірності розповсюдження домішок в атмосфері, а з іншого боку — предиктори повинні бути такими, що прогнозуються й доступні в оперативній практиці. До головних величин, що формують рівні забруднення атмосфери, належать: напрям та швидкість перенесення домішок; термічна стійкість атмосфери; ступінь вертикального змішування домішок; термічний стан повітряної маси, від якого залежить початкове піднімання викидів; вимивання домішок опадами; їх акумулювання в туманах; інерційний чинник [2-7, 19, 20, 24-27]. Аналіз фізичних процесів, що зумовлюють розсіювання домішок у граничному шарі атмосфери, свідчить про те, що основними предикторами слід вважати характеристики термодинамічного стану. Їх визначають шляхом метеорологічних спостережень і радіозондування. Рекомендується використовувати спостереження головної метеостанції й пункту радіозондування, який, як правило, розміщений за межами міста. Це дозволяє корелювати забруднення міського повітря з характеристиками граничного шару атмосфери, які не перебувають під впливом самого міста.

Нижче наведено найхарактерніші залежності забруднення повітря через метеорологічні умови, отримані за матеріалами спостережень у ряді міст України.

6.2. Напря́м та швидкі́сть ві́тру

Ці характеристики визначають на висоті флюгера на основній метеостанції. Залежність рівня забруднення повітря в місті від напрямку вітру в багатьох випадках є досить простою. Вплив цієї величини найчіткіше проявляється, коли джерела викидів розміщені за містом, або в навітряній чи підвітряній його частині. Однак і в цих простих випадках вплив напрямку вітру на рівень забруднення повітря в місті потрібно вивчати спеціально, оскільки треба враховувати те, що потік повітря може бути перекрученим через вплив складного рельєфу, водойми, а також через безпосередній тепловий вплив великих промислових комплексів [4, 7, 8, 14, 15]. Наприклад, у місті Черкаси напрям вітру відіграє важливу роль тому, що шкідливі домішки потрапляють у повітря атмосфери від джерел, які розташовані з навітряного боку (на південному сході від житлової забудови). На рис. 6.1 наведено “розу” забруднення повітря з урахуванням напрямку та швидкості вітру в м. Черкаси. Найбільша повторюваність високого рівня забруднення повітря ($Q > 1.5$) відмічається в разі вітрів південного і східного напрямів. Під час вітрів північно-західного напрямку спостерігається небагато випадків з високим забрудненням повітря діоксидом азоту (NO_2).

Розрахунки показали, що в місті 80% випадків високого рівня забруднення повітря припадає на південний, південно-східний напрям вітру, стільки ж випадків - коли швидкість вітру не перевищує $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Ці метеорологічні умови разом з високим попереднім забрудненням атмосфери становлять приблизно 90% випадків високого рівня забруднення повітря діоксидом азоту [20]. Коли джерела розміщені рівномірно по території міста, напрям вітру на формування забруднення часто не впливає. Виявляти цей вплив на розподіл шкідливих домішок ускладнює розвиток місцевої циркуляції атмосфери, специфічні місцеві особливості та особливості просторового розміщення пунктів спостережень відносно джерел викидів тощо.

Але інколи несприятливі напрями вітру можуть чітко виявлятися і у випадках рівномірного розміщення джерел викидів на території міста внаслідок різних ефектів накладання викидів. У деяких містах, загальна територія яких подібна до прямокутника або еліпса, можна спостерігати підвищення забруднення повітря, коли напрям вітру спрямований вздовж цього прямокутника або великої осі еліпса.

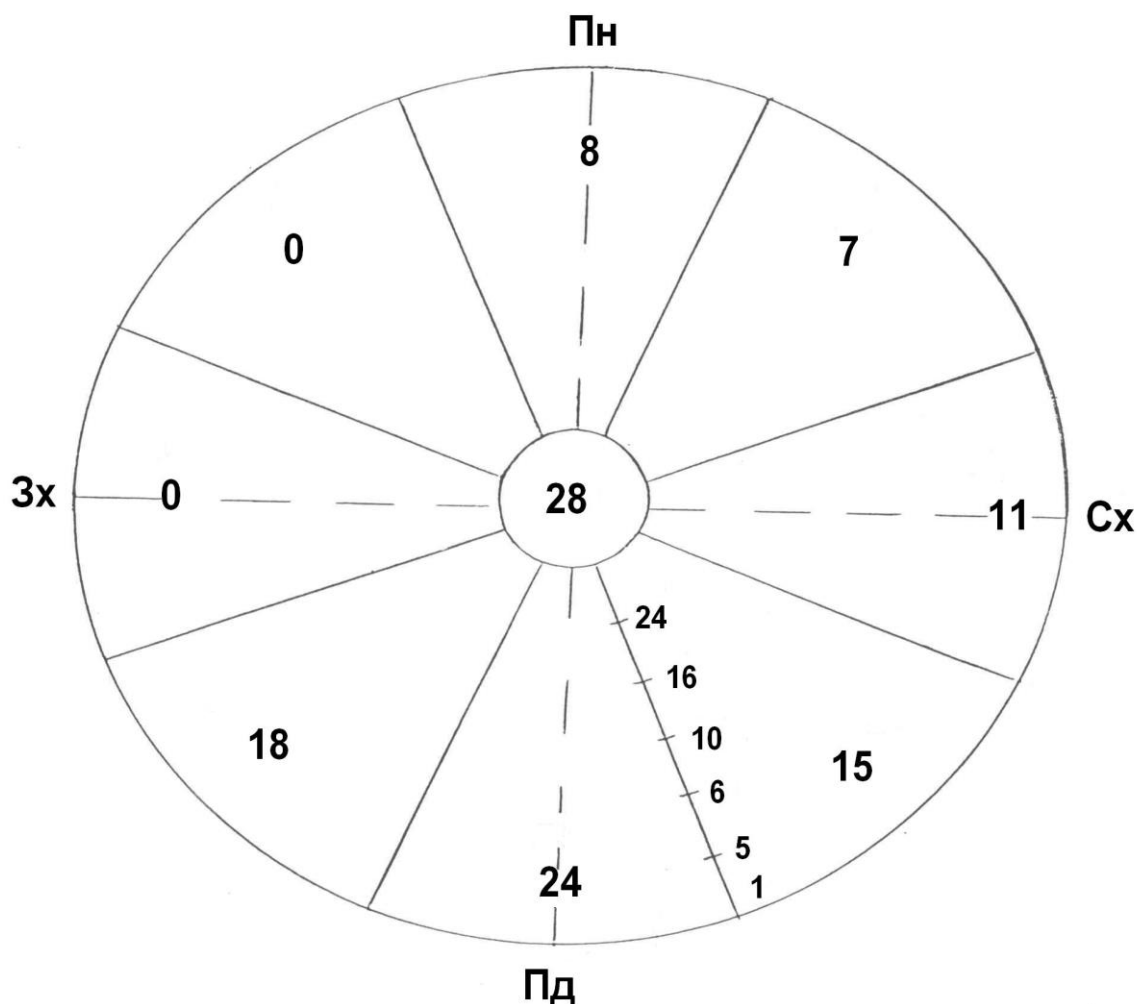


Рисунок 6.1 - Повторюваність (%) випадків високого рівня забруднення повітря за різної швидкості й напрямку вітру (діоксид азоту; холодний період року; перша половина доби; м. Черкаси)

Аналіз результатів досліджень забруднення повітря в ряді міст України показав, що підвищений рівень забруднення повітря в Черкасах та Кривому Розі спостерігається під час вітрів південного та південно-східного напрямів, у Запоріжжі, Харкові й Донецьку — взимку під час вітру південно-східного напрямку, в Одесі та Маріуполі — західного та південно-західного напрямів.

Під час прогнозування забруднення повітря в містах, що розміщені біля морів, річок та великих водойм, потрібно враховувати місцеві особливості циркуляції. У періоди застійних ситуацій часто підсилюється бриз, що зумовлює зниження концентрацій домішок у приземному шарі атмосфери [24]. В окремі періоди виникає замкнена циркуляція, яка призводить до повернення домішок, які піднялися над джерелом [3-5].

В умовах міста можна спостерігати два максимуми забруднення повітря залежно від швидкості вітру на рівні флюгера: під час штилю й слабого вітру (до $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) та за швидкості вітру в межах від $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. В окремих містах можна спостерігати ще один максимум забруднення повітря за швидкості вітру $8 - 9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. У таких містах, як Донецьк, Дніпропетровськ високе забруднення повітря буває під час штилю, швидкості

вітру від $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і від $8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. У Маріуполі найбільша повторюваність високого рівня забруднення — під час штилю, швидкості вітру від $3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і від $9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. У Черкасах повторюваність штилів становить близько 50 %, тому тут майже 90 % випадків високого забруднення повітря відбувається під час штилю й швидкості вітру $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Це пов'язано з наявністю двох класів джерел викидів: високих і низьких, а також гарячих і холодних. Для ТЕЦ небезпечна швидкість вітру від $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, для металургійних заводів — від $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, для хімічних підприємств — відповідно $1 - 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [3,4].

Максимум під час штилю найбільш чітко виявляється за наявності приземної інверсії, а коли її немає — під час помірного вітру.

Для різних міст і сезонів характерними є такі закономірності:

- за умов стійкої стратифікації забруднення повітря в місті зменшується з підвищенням швидкості вітру;
- за нестійкої стратифікації для основних джерел викидів міста максимум забруднення повітря виявляється за швидкостей вітру, близьких до небезпечних [4, 5, 16]

6.3. Турбулентне перенесення

Перенесення домішок у вертикальному й горизонтальному напрямках зумовлює режим турбулентної дифузії, яку визначає стан атмосфери, характеристики вітру, інсоляція, шорсткість підстильної поверхні, метеорологічні явища (хмарність, туман, запиленість атмосфери), що впливають на перенесення й осідання домішок; рівень турбулентності атмосфери визначають характеристики стійкості атмосфери, для яких заздалегідь оцінюють їхній зв'язок з параметрами розсіювання домішок (коефіцієнтом турбулентного обміну, дисперсією факела) [3-5, 16].

Загальний стан атмосфери визначають за температурною стратифікацією, кількісним показником якої є вертикальний градієнт температури повітря γ , який обчислюють за результатами висотного радіозондування [19].

Залежно від співвідношення між дійсним температурним градієнтом (γ) і нормальним сухо-адіабатичним градієнтом (γ_a), який становить $1^\circ/100 \text{ м}$, виникають різні умови стійкості атмосфери, тобто здатність стратифікованої атмосфери гасити або підсилювати вертикальні потоки повітря. Якщо температурний градієнт менший сухо-адіабатичного градієнта ($\gamma < \gamma_a$) атмосфера перебуває у стійкому стратифікованому стані відносно сухого і ненасиченого повітря. Якщо температурний градієнт дорівнює сухо-адіабатичному градієнту ($\gamma = \gamma_a$), відбувається нейтральна (індиферентна) стратифікація, а коли температурний градієнт більший за сухо-адіабатичний градієнт ($\gamma > \gamma_a$) - стратифікація нестійка.

Чим більша величина вертикального температурного градієнта, тим нестійкіша атмосфера з інтенсивним турбулентним перемішуванням (стан конвекції) і тим

інтенсивніше розсіювання домішок. За нададіабатичних градієнтів і слабких вітрів формуються вихори великого масштабу, які нерідко розсіюються коло поверхні землі поблизу джерел викидів. Отже, домішки від високих джерел забруднення сягають поверхні землі в результаті турбулентного обміну, інтенсивність якого збільшується зі зростанням нестійкості.

Найгіршими умовами для розсіювання домішок є застої повітря, які формуються за приземних інверсій і слабких вітрів, а також під час туману. Застійні явища сприяють інтенсивному накопичуванню домішок у містах, де є переважно низькі джерела. У Харкові більше ніж 50 % випадків високого рівня забруднення повітря зумовлене наявністю інверсії, Донецьку взимку — близько 40% випадків унаслідок дій піднесених інверсій, що сприяють утворенню високого рівня забруднення.

6.4. Температура атмосферного повітря

Поряд з процесами перенесення і розсіювання домішок від джерел забруднення повітря існують інші чинники, що зумовлюють рівень концентрації домішок в атмосфері міста. Одним з таких факторів є термічний стан повітряної маси, що характеризується температурою повітря. Температурний режим атмосфери, наряду з іншими величинами, визначає інтенсивність вертикального підйому димових газів і, отже, інтенсивність “розбавлення” забрудненого повітря [2-4]. З температурою повітря також пов’язані: характер роботи окремих підприємств, витрати палива та електроенергії, що в свою чергу, впливає на валові викиди окремих виробництв (ТЕЦ, котельні тощо).

Взимку частіше за все відбувається зростання рівня забруднення повітря зі зниженням температури. Це, насамперед, характерно для антициклонічної погоди за адвекції тепла на холодну підстильну поверхню. Значну роль відіграють радіаційні тумани, що виникають у результаті нічного вихолодження приземного шару повітря. Щоб розрахувати вплив туману на забруднення повітря, потрібно встановити ряд характеристик туману: висоту, водність та розподіл температури в ньому. Крім цього, коли знижується температура, використовується більша кількість палива і, отже, зростає кількість викидів шкідливих домішок. Підвищення концентрації деяких домішок, особливо діоксиду азоту, зі зниженням температури повітря пояснюється більш інтенсивною роботою ТЕЦ, міських котелень і збільшенням витрат палива.

6.5. Синоптичні умови забруднення атмосферного повітря

Синоптична ситуація відображає особливості атмосферних процесів і характеризується за допомогою комплексу аерометеорологічних параметрів, у зв’язку з чим синоптичний фактор відіграє досить важливу роль під час складання прогнозу забруднення [19, 20, 24, 25]. Відомо, що рівень приземного забруднення зростає в центральній, західній та північно-західній частинах антициклону, районах формування

малоградієнтного баричного поля, і зменшується в районах розвитку циклонічної діяльності.

Аналіз умов формування високого рівня забруднення атмосфери в кількох містах України показав, що особливо важлива роль належить синоптичним умовам. Серед досліджуваних метеорологічних величин синоптичний предиктор часто займає перше місце. Це пояснюється тим, що синоптична ситуація – складна комплексна характеристика, яка у стислій формі відображає основні риси метеорологічних та аерологічних умов у граничному шарі атмосфери. Для ряду міст на території України проведено типізацію синоптичних ситуацій, що формують високе забруднення повітря.

Загальна закономірність полягає в тому, що підвищене забруднення атмосферного повітря спостерігається за антициклонального баричного поля; з його перетворенням у циклонічне — забруднення атмосфери зменшується.

Вплив синоптичних умов на формування певного рівня забруднення атмосферного повітря неоднаковий у різних містах. У Кривому Розі і Донецьку описана вище тенденція вирізняється чітко, а в інших вона завуальована (м. Запоріжжя). Проте, як правило, в усіх містах Донецького і Придніпровського промислових районів чітко спостерігається тенденція поступового зменшення концентрацій у випадках переходу від полів високого до полів низького тиску. Отже, підтверджується висновок щодо макрометеорологічної зумовленості рівня концентрацій [24].

У формуванні високого рівня забруднення атмосферного повітря визначають такі загальні риси: найбільша повторюваність випадків високого забруднення повітря спостерігається в малорухомих антициклонах і гребенях, на західній периферії антициклону, в розмитому баричному полі з вітрами змінних напрямів. Узимку в теплому секторі циклону та в передній його частині, що сприяє формуванню стійкості атмосфери, відмічають підвищені концентрації шкідливих домішок. Тип синоптичної ситуації визначають за фактичними й прогностичними картами баричного поля приземного тиску.

З метою врахування у прогностичній схемі залежності рівня забруднення повітря від синоптичних умов вводять кількісний синоптичний предиктор [8]. За матеріалами досліджень у кожному конкретному місті роблять деталізований аналіз синоптичних умов забруднення повітря, за результатами якого проводять типізацію синоптичних ситуацій, яку подають у вигляді індексів. Слід звертати особливу увагу на ситуації, з якими пов'язано формування тривалих періодів з високим рівнем забруднення повітря. Типізацію виконують так, щоб будь-яка синоптична ситуація за всі без виключення дні могла бути віднесена до певного типу.

Приклад типізації синоптичних процесів для Києва наведено в табл. 6.1.

Після встановлення типів синоптичних ситуацій для кожного з них розраховується середнє значення узагальненого по місту показника забруднення повітря, яке є кількісною

характеристикою ситуації або кількісним синоптичним предиктором (тобто перетвореним предиктором).

Таблиця 6.1 - Синоптичні ситуації. Київ

Індекс синоптичної ситуації	Тип синоптичної ситуації
Літо	
1	Центр антициклону. Північна, східна та західна периферії антициклону.
2	Північно-східна, південно-східна периферії антициклону
3	Північно-західна, південна та південно-західна периферії антициклону
4	Теплий сектор циклону. Фронт оклюзії
5	Малоградієнтне поле підвищеного тиску
6	Сідловина. Малоградієнтне поле зниженого тиску
7	Улоговина. Передня частина циклону. Теплий фронт.
8	Холодний фронт. Тил циклону

У табл. 6.2 наведено перетворені дані для ряду окремих домішок у Києві.

Таблиця 6.2 - Середнє значення нормованої концентрації діоксиду сірки, діоксиду азоту, оксиду вуглецю та формальдегіду при різних синоптичних ситуаціях. Літо

Домішка	1	2	3	4	5	6	7	8
SO ₂	1,12	1,62	1,03	1,13	1,04	0,88	0,98	0,87
CO	1,04	1,12	0,92	1,06	1,10	0,98	1,01	0,80
NO ₂	1,07	0,97	1,00	0,97	1,01	0,99	1,03	0,98
формальдегід	1,38	1,10	1,05	1,17	1,12	0,87	0,80	0,73

6.6. Опади, тумани

Вміст і коливання концентрацій шкідливих домішок у повітрі міст може бути зумовлене і такими факторами, як опади та тумани.

Опади вимивають домішки з повітря. Відновлення вихідного рівня забруднення повітря в місті відбувається поступово, протягом 12 год. Найчистішим повітря буває відразу після опадів. Протягом 12 год після опадів повторюваність високих рівнів забруднення повітря нижча, ніж у наступні години і в середньому. Аналіз даних концентрацій домішок у повітрі після дощу показав, що його ступінь очищення залежить від кількості опадів: чим більше їх випадає, тим чистішим стає повітря [4, 24].

У туманах відбувається підвищене забруднення повітря внаслідок поглинання краплями шкідливих домішок. При цьому домішки разом з краплями залишаються в приземному шарі повітря. У результаті утворення значних градієнтів концентрацій (поза краплями) відбувається перенесення домішок з навколишнього простору в область туману, в зв'язку із чим сумарна концентрація домішок зростає. Значну загрозу викликає розташування над туманом факелів диму, які під впливом вищезгаданого ефекту поширюються в приземному шарі повітря [3-5,7,24,27].

6.7. Інерційний фактор

На ступінь забруднення повітря в межах міста ще впливає й інерційний чинник. Забруднення повітря за параметрами P або Q в місті залежить від значення P' або Q' попереднього дня. Якщо напередодні значення Q' (або іншого показника забруднення повітря в місті) було високе, то і в поточний день забруднення повітря, як правило, буде підвищене, якщо синоптичні умови не змінюються. Інша картина спостерігається, коли значення узагальненого по місту показника забруднення повітря мале ($P \leq 0,2$; $Q' \leq 0,7$). У цьому випадку частіше за все відмічається зниження забруднення повітря, якщо не трапляються залпові викиди, зокрема і в такій несприятливій ситуації, як застій повітря. Коефіцієнт кореляції між значеннями показників P' або Q' у суміжні дні становить 0,6-0,8. У теплий період року коефіцієнт кореляції між значеннями узагальненого по місту показника забруднення Q' по діоксиду азоту в суміжні дні становить 0,78 (Харків), фенолу — 0,67 (Кривий Ріг), сірковуглецю — 0,65 (Черкаси).

Дія інерційного чинника зумовлена метеорологічною інерцією, яка означає тенденцію до збереження атмосферних процесів, які визначають рівень концентрацій в повітрі. Деякі метеорологічні величини, що впливають на концентрацію домішок у повітрі, можуть бути невідомі. Але, якщо взяти до уваги усталений рівень забруднення повітря, його враховують автоматично. Значну роль може відігравати й інерція забруднення повітря.

Вплив інерційного чинника встановлено майже для всіх міст, де були проведені дослідження. Це пояснюється перш за все наявністю метеорологічної інерції, тобто тенденції до збереження певного стану метеорологічних умов.

7. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ

7.1. Рекомендації щодо розроблення схем

Схеми для складання прогнозу забруднення повітря в місті потрібно розробляти окремо: для кожної пори року, окремо для першої та другої половини дня, а також для всього дня (строки вимірювання: 01год, 07год, 13год та 19год)

Прогностичні схеми для триразових спостережень за концентраціями домішок у повітрі в постійні строки також потрібно розробляти окремо за кожний період дня. Виміри відносять до відповідної частини дня з огляду на такі два можливі варіанти:

1) до першої половини дня відносять виміри концентрацій за такі строки спостережень: 01год, 07год і 13год, до другої — 13год і 19год;

2) аналогічно розраховуємо узагальнений показник за вимірами у строки спостережень 07год і 13год. Припустимо, що розрахований таким чином узагальнений показник характеризує забруднення атмосфери за першу половину дня. Показник забруднення за другу половину дня і за вечір розраховуємо за даними строку спостережень 19 год. Такий варіант може бути реалізований за наявності достатньої кількості вимірів. Додатково складаємо схему прогнозу середнього за день забруднення повітря в місті використовуючи виміри за строки спостережень 01год, 07год, 13год і 19год. Для розроблення схем, потрібно брати метеорологічні величини для періоду, на який складено прогноз. У схемах прогнозу першої половини дня використовують метеорологічні величини за строк 03год, за весь день - строки 03год та 15год і дані радіозондування за 03год. У схемах, складених для другої половини дня або для кінця дня та вечора як предиктори беруть метеорологічні величини за строк 15год. Для такого підходу є можливість уточнити прогноз на найближчі години, врахувавши виміряні величини предикторів. Включений в прогностичну схему такий важливий предиктор, як початкове забруднення атмосфери, вимагає якісного оперативного аналізу проб повітря.

У зв'язку з тим, що впродовж перехідних сезонів спостерігається значна мінливість метеорологічного режиму, рекомендується розробляти прогностичні схеми для зимового (грудень – лютий), літнього (червень – серпень) сезонів, використовуючи суміжні місяці перехідних сезонів, а також для холодного (листопад – березень) і теплого (квітень – жовтень) періодів.

7.2. Відбирання предикторів

Перед розроблюванням прогностичної схеми потрібно вибрати предиктори, якими є метеорологічні величини й початкове забруднення. До якісних предикторів відбирають показники, що дозволяють максимально враховувати фізичні закономірності розповсюдження домішок в атмосфері. Головним принципом є відбирання їх за матеріалами спостережень у конкретних містах з урахуванням реальності й щільності

зв'язку між метеорологічними величинами і концентраціями домішок у повітрі. Під час розроблювання прогностичної схеми предиктори заздалегідь не задають: з усіх можливих вибирають кілька найбільш значущих.

Під час відбирання предикторів слід урахувувати головні фактори, що визначають формування рівня забруднення повітря: напрям і швидкість перенесення домішок; атмосферна стійкість та пов'язана з нею ступінь вертикального перемішування домішок; термічний стан повітряної маси, від якої залежить підвищення перегрітих викидів та всього об'єму перегрітого над містом повітря; вимивання домішок опадами й акумулювання їх у туманах; інерційний фактор тощо.

Показником напрямку перенесення домішок є напрям вітру на висоті флюгера головного метеорологічного майданчика міста. Важливим предиктором є швидкість вітру на рівні флюгера. Поряд з цим, у схему включають і швидкість вітру на рівні АТ-925гПа. Такий підхід урахує більше інформації про вплив метеорологічних умов на забруднення повітря в місті, ніж тоді, коли розглядається середня в шарі повітря швидкість вітру. Зокрема враховують ефекти, пов'язані з впливом на стан забруднення повітря швидкості перенесення шкідливих домішок біля поверхні землі (на висоті флюгера) і на вищому рівні, у граничному шарі атмосфери. Предиктором може бути й середня швидкість вітру в шарі перемішування [14, 15].

За характеристики атмосферної стійкості приймають ΔT (різницю температури між рівнем землі й АТ-925гПа) та H_{TD} (шар термодинамічного перемішування), див. підрозділ 10.3. Коли переважають інверсійні умови, за яких висота шару термодинамічного перемішування (H_{TD}) дорівнює 0, у прогностичні схеми включають різницю температури між рівнем землі й АТ-925гПа (ΔT). Якщо переважають ситуації, коли висота шару термодинамічного перемішування (H_{TD}) більше за 0, тоді вибирають одну з двох зазначених характеристик, яка тісніше корелює з забрудненням атмосфери в конкретному місті.

Предикторами можуть бути такі характеристики:

- v_o — швидкість вітру на висоті флюгера, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;
- d — напрям вітру, румби;
- v_{925} — швидкість вітру на рівні ізобаричної поверхні АТ–925 гПа, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;
- $\bar{v}$ — середня швидкість вітру в шарі перемішування;
- ΔT — різниця температур між рівнем землі й рівнем ізобаричної поверхні АТ-925 гПа, $^{\circ}\text{C}$;
- T_0 — температура біля поверхні землі, $^{\circ}\text{C}$;
- H_{TD} — висота шару термодинамічного перемішування, м;
- H_2 — нижня межа інверсії (якщо інверсія приземна, H_2 дорівнюватиме 0), м;
- H_1 — потужність приземної інверсії (за відсутності приземної інверсії H_1 дорівнюватиме 0), м;
- $\Delta P / \Delta l$ — градієнт приземного тиску, $\text{гПа} \cdot \text{град}^{-1}$ меридіана;

– P' або Q' – значення P або Q за день, що передує прогнозу.

Під час розроблювання схеми можна використовувати інші предиктори, такі, як: градієнт геопотенціалу на рівні ізобаричної поверхні АТ–925 гПа, лапласіан тиску й геопотенціалу, добові зміни температури (ΔT °C) тощо.

Якщо є можливість виділити типи синоптичних ситуацій так, щоб виявився зв'язок між ними та рівнем забруднення повітря в місті, тоді тип ситуації включають у схему прогнозу як предиктор. Рекомендується кожний з типів кодувати балом (наприклад, від 3 до 10). Менший бал приписують типам синоптичних процесів, які найбільшою мірою визначають високий рівень забруднення повітря в конкретному місті [22, 23]. Приклад типізації синоптичних процесів з метою використання такої характеристики, як предиктора у прогностичній схемі для Києва, подано в табл. 6.1, а для МУЗ – в табл.10.2.

Під час складання прогнозів забруднення повітря на добу і більше слід використовувати прогностичні значення метеорологічних предикторів. Тому, вибираючи предиктор, ураховують потребу максимального використання фактичного й прогностичного аеросиноптичного матеріалу, який є у синоптика в момент складання прогнозу загального користування. Коли складають прогнози на строк до 12 год, у прогностичну схему включають виміряні значення метеорологічних величин. Для таких випадків можуть бути розроблені варіанти схем з підвищеною інверсією, аналог числа Річардсона тощо.

7.3. Удосконалена схема прогнозування забруднення атмосферного повітря з використанням інформативних комплексних предикторів

Мета розроблювання схеми прогнозування забруднення повітря за допомогою інформативних комплексних предикторів - це підвищити ефективність прогнозів екстремально високих рівнів забруднення повітря [4, 14, 15, 24]. Особливістю цієї схеми є те, що до неї включені найбільш інформативні комплексні предиктори, що характеризують вплив метеорологічних умов на формування високих концентрацій домішок у повітрі. Вони являють собою лінійні сполуки вихідних предикторів.

Кількість інформації J щодо високого рівня забруднення, яка міститься в предикторах X , можна записати так:

$$J = - \int \ln P_b(X) [f(X) - f_b(X)] dx, \quad (7.1)$$

де P_b – ймовірність високого забруднення повітря залежно від значення предикторів;

$f(X)$ – густина ймовірності розподілу предикторів;

$f_b(X)$ – густина ймовірності розподілу предикторів за умови високого рівня забруднення повітря.

Найбільш інформативні лінійні комбінації використовуваних предикторів знаходяться у такому виразі:

$$\beta_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ji} X_i, \quad (7.2)$$

де X_i – предиктор;

α_{ji} – постійні коефіцієнти;

n – кількість предикторів;

β_j – значення комплексних предикторів.

Максимальну інформацію про високе забруднення повітря буде вміщувати лінійна комбінація предикторів, за якої кількість інформації J сягає найбільшого значення. Її пошук еквівалентний до вирішення задачі на властиві значення: $C\alpha - \lambda\beta\alpha = 0$, де C – матриця коваріації предикторів; β – матриця коваріації предикторів високого забруднення повітря; λ – властиві числа.

Інформативними будуть лінійні комбінації предикторів, що відповідають властивим числам λ , які більші за одиницю. Найбільшу інформацію містить лінійна комбінація, що відповідає максимально властивому числу. Кількість таких лінійних сполук дорівнює числу вихідних метеорологічних предикторів. Виявляється, що достатньо включити у прогностичну схему тільки два комплексних предиктора, які відповідають найбільшим значенням λ .

Матеріали спостережень обробляють так: для всіх рядів предикторів обчислюють матрицю коваріації C , потім вибирають випадки, що відповідають високому забрудненню повітря (предиктор $P > 0,35$; предиктор $Q > 1,4$), і за вибраними даними розраховують матрицю коваріацій β . Далі визначають властиві числа λ_j та коефіцієнти лінійних комбінацій α_{ji} , які їм відповідають, де i – номер постійного коефіцієнта; j – номер лінійної комбінації. Після цього розраховують значення комплексних предикторів β_j , і в подальшому використовують тільки ті з них, які містять інформацію про високе забруднення (яким відповідають властиві числа $\lambda > 1$).

Приклади, в яких використовують інформативні комплексні предиктори під час складання схем прогнозу, наведено в розділі 9.

7.4. Деякі прогностичні правила

Прогнозуючи забруднення повітря в місті, потрібно, крім розрахункової схеми, керуватися деякими прогностичними ознаками, що базуються на вивченні комплексів метеорологічних величин і синоптичних ситуацій, які формують рівень забруднення повітря. Такі комплекси й синоптичні ситуації визначають, аналізуючи зв'язки між інтегральними показниками предикторів (Q або P) забруднення повітря в місті і метеорологічними величинами [4, 14, 15, 20, 24].

Важливими у практичному відношенні є висновки про можливе зростання або зменшення рівня забруднення повітря в зв'язку зі змінами метеорологічних умов.

На основі аналізу раніше проведених досліджень можна сформулювати правила, які підходять для групи міст. Високі рівні забруднення повітря міст ($Q \geq 1,4$, $P > 0,35$) спостерігають за таких умов:

- якщо величина Q або P у день, що передує прогнозу Q' , P' відповідно перевищує 1,4 та 0,35, (швидкість вітру при цьому очікується менша ніж $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), ймовірність високого забруднення повітря зростає;
- значне забруднення повітря відбувається у дні, коли місто перебуває в області розвинутого антициклону або гребеня високого тиску;
- досить велика повторюваність високого забруднення повітря припадає на проміжні поля, які характеризуються перенесенням теплого повітря з південного заходу. Адвекція тепла на холодну підстильну поверхню сприяє утворенню інверсій, що призводить до посиленого накопичення домішок у приземному шарі;
- високе забруднення повітря формується в нічні й ранкові години за слабкої швидкості вітру і за підвищених значень Q' і P' , а також за слабкої швидкості вітру з туманом, коли місто перебуває під впливом теплого сектора циклону;
- в умовах застою повітря (за наявності приземної інверсії, коли градієнт температури в граничному шарі атмосфери від'ємний у поєднанні зі штилем або слабкою швидкістю вітру) ймовірність високого рівня забруднення підвищується. Низькі піднесені інверсії (300 м і менше) за слабкої швидкості вітру також сприяють накопиченню домішок у повітрі;
- за швидкості вітру $0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} - 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, який супроводжується туманом.

У практичній роботі потрібно користуватись якісними висновками можливих змін рівня забруднення повітря (за відносно стабільної кількості викидів), отриманими на основі фізичних досліджень та аналізу фактичного матеріалу [2-4, 7,11,12,24-27]. Підвищення рівня забруднення повітря формують:

- посилення стійкості нижнього шару атмосфери за слабого вітру (внесок низьких викидів);
- послаблення вітру за стійкої термічної стратифікації;
- посилення вітру від $0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ за нестійкої стратифікації;
- підвищення температури повітря за слабого вітру, що не перевищує $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$;
- утворення туманів;
- збільшення антициклональної кривизни приземних ізобар;
- адвекція тепла в тропосфері.

Умови, які не сприяють високому рівню забруднення повітря:

- якщо в холодну пору року чи влітку в нічні й ранкові години, коли швидкість вітру $0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} - 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а приземна інверсія відсутня.

– у випадках переходу з антициклону у циклон забруднення повітря зменшується;

– за швидкого переміщення антициклонів і гребенів;

– під час помірного або сильного дощу (опадів у вигляді дощу очищають повітря інтенсивніше, ніж під час випадання снігу);

– посилення вітру за стійкої термічної стратифікації;

– збільшення циклонічної кривизни приземних ізобар;

– адвекція холоду в тропосфері;

– проходження холодного фронту.

Складаючи прогностичні схеми, слід також приділяти увагу просторовій структурі концентрацій домішок.

Прогностичні правила встановлюють за матеріалами спостережень у кожному місті, які є доповненням до статистичних схем прогнозування забруднення повітря.

8. ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ОКРЕМИХ ДЖЕРЕЛ ТА ГРУПИ ДЖЕРЕЛ

8.1. Метеорологічні умови забруднення атмосферного повітря

8.1.1. Розраховування небезпечної швидкості вітру та максимальної концентрації домішок

Для характеристики стану атмосфери, за якого можуть виникати великі концентрації домішок, виділяють нормальні та аномальні метеорологічні умови [4,14, 15, 16, 24].

За нормальних умов, коли джерела високі, несприятливим є наявність над-адіабатичного градієнта температури. У такій ситуації внаслідок розвинутого турбулентного обміну домішки інтенсивно переносяться від джерел до земної поверхні, де можуть спостерігатися значні концентрації. Ступінь забруднення повітря істотно залежить від швидкості вітру. Вплив швидкості вітру на забруднення повітря має складний характер.

Для кожного джерела існує певна небезпечна швидкість вітру (U_m), за якої відбувається максимальна концентрація домішок.

Визначаючи небезпечну швидкість вітру (U_m), найперше слід встановити вид викидів: гарячі чи холодні (ефективність піднімання викидів під час перегрівання підсилюється). Тому чим більше перегрівання, тим більша повинна бути швидкість вітру, за якої біля землі формується максимальна концентрація домішки. Викиди відносять до нагрітих чи холодних на основі оцінювання параметра f , який визначають за формулою:

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (8.1)$$

де ω_0 – швидкість виходу димових газів з гирла джерела викидів, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

D – діаметр гирла джерела (труби), м ;

H – висота джерела над рівнем земної поверхні, м ;

ΔT – різниця між температурою суміші, яка викидається, та температурою навколишнього повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Параметр f є характеристикою впливу перегрівання викидів, які надходять в атмосферу, на початкове піднімання факела диму та розсіювання домішок. Якщо f менша або дорівнює 100, викиди відносять до нагрітих, якщо f більша за 100 (або ΔT приблизно дорівнює 0) – до холодних.

Після розраховування f і встановлення характеру викидів через параметр v_m для джерел з нагрітими викидами і через параметр v'_m для джерел з холодними викидами визначають небезпечну швидкість вітру (U_m) за такими формулами:

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V \Delta T}{H}}, \quad (8.2)$$

$$v'_m = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H}, \quad (8.3)$$

де V - об'єм газоповітряної суміші, м^3 .

Примітка. v'_m , і v'_m , як і Um , виражається в $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Для окремих джерел з гарячими викидами орієнтовно вважають, що якщо v_m менше або дорівнює $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, тоді Um становитиме $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; якщо v_m більше ніж $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, але менше або дорівнює $2,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, тоді Um становитиме v_m ; якщо v_m більше ніж $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, — Um становитиме $v_m (1 + 0,12 \sqrt{f})$.

Для джерел з холодними викидами: якщо v'_m менше або дорівнює $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, тоді Um становитиме $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; якщо v'_m більше ніж $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, але менше або дорівнює $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, тоді Um становитиме v'_m ; якщо v'_m більше ніж $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, Um становитиме $2,2 v'_m$.

Для лінійного джерела (вид аераційного ліхтаря) небезпечну швидкість вітру Um розраховують за формулою:

$$Um = U'm, \quad (8.4)$$

де $U'm$ відноситься до окремого джерела з круглим устям, еквівалентним певному лінійному джерелу; розраховують за наведеними вище формулами для Um , використовуючи еквівалентні значення діаметра джерела D , що становить $D_{\text{э}}$ (м) і об'єму газів, що виходять з нього $V = V_{\text{э}}$ ($\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$), які визначають за такими формулами:

$$D_{\text{э}} = \frac{2LV}{L^2 \omega^0 + V}; \quad (8.5)$$

$$V_{\text{э}} = \frac{\pi D_{\text{э}}^2}{4} \omega_0, \quad (8.6)$$

де L – довжина лінійного джерела.

Для потужних теплових електростанцій значення небезпечної швидкості вітру (Um) становить від $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, для металургійних підприємств — від $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, для більшої частини хімічних підприємств — від $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, для лінійних джерел Um також часто становить від $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Небезпечна швидкість вітру для групи джерел з різними параметрами викидів ($Um.c.$) характеризується середньою зваженою величиною:

$$U_{м.с.} = \frac{\sum_{i=1}^N U_{mi} C_{mi}}{\sum_{i=1}^N C_{mi}}, \quad (8.7)$$

де U_{mi} – розрахункові значення небезпечної швидкості вітру;

C_{mi} – максимальні концентрації для джерела i ;

N – кількість джерел.

Максимальні концентрації ($C_{mi} \cdot \text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$), які утворюються від небезпечної швидкості вітру та несприятливої температурної стратифікації, від групи N близько розташованих джерел розраховують так:

у випадках гарячих викидів

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V\Delta T}}, \quad (8.8)$$

у випадках холодних викидів

$$C_m = \frac{AMFn\eta}{H^3\sqrt[3]{H}} \cdot \frac{DN}{8V}, \quad (8.9)$$

де M – кількість речовини, яка викидається ($\text{г} \cdot \text{с}^{-1}$);

A – коефіцієнт, який враховує несприятливі умови вертикального та горизонтального перемішування;

F – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері;

m і n – безрозмірні коефіцієнти, які враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викидів;

η – безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості.

Значення коефіцієнта A для України дорівнює 160 (для розміщених в Україні джерел, висота яких не перевищує 200 м у зоні від 50° п.ш. до 52° п.ш., становить 180, південніше 50° п.ш. — 200).

Коефіцієнт F вважають таким, що дорівнює 1 для газоподібних речовин і дрібнодисперсних аерозолів, швидкість упорядкованого осідання яких близька до нуля; для пилу й сажі (якщо середній експлуатаційний коефіцієнт очищення становить не менше 90%) F дорівнюватиме 2; якщо коефіцієнт очищення від 75% до 90 %, F дорівнюватиме 2,5; якщо коефіцієнт очищення менший за 75% або коли пиловловлювання немає, F дорівнюватиме 3.

Безрозмірний коефіцієнт m визначають через параметр f

$$f = 10^3 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T} \quad (8.10)$$

і за допомогою рис. 8.1.

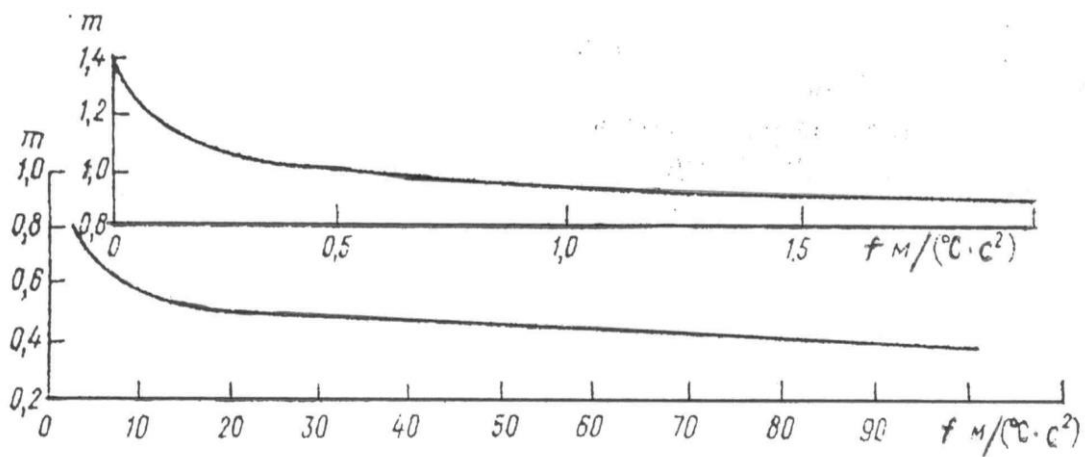


Рисунок 8.1 – Залежність параметра m від f

Об'єм газоповітряної суміші (V) та швидкість виходу димових газів з гирла джерела (ω_0) пов'язані співвідношенням $v = \omega_0 \pi D^2 / 4$.

Безрозмірний коефіцієнт n визначають за допомогою рис. 8.2, виходячи зі значень v_m і v'_m . Якщо параметр v_m для джерел з нагрітими викидами більший ніж $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, тоді n дорівнюватиме 1.

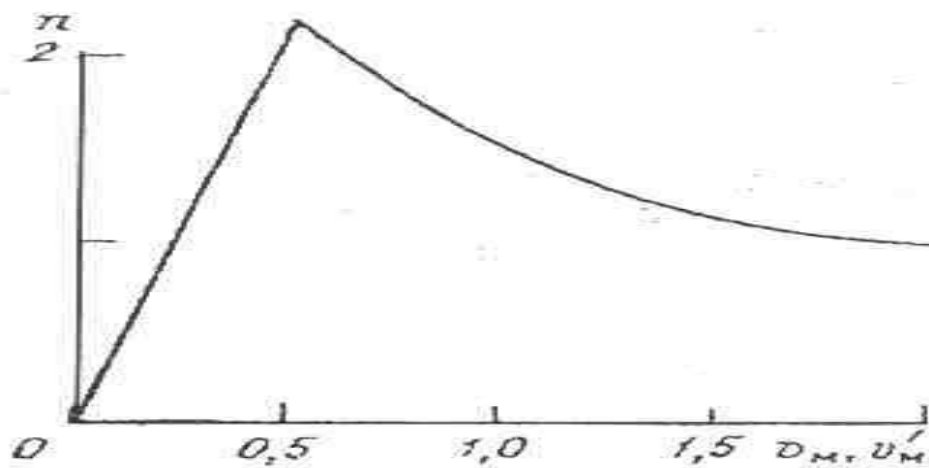


Рисунок 8.2 - Залежність параметра n від v_m і v'_m

8.1.2. Аномально несприятливі метеорологічні умови

Найінтенсивніше забруднення повітря відбувається за аномально несприятливих метеорологічних умов. До таких умов, насамперед, відноситься підвищена інверсія, нижня межа якої розміщена над джерелом викиду (точніше над його ефективною висотою, яка для нагрітих джерел вища геометричної внаслідок початкового піднімання факела). Збільшення концентрації домішки істотно залежить від висоти розміщення нижньої межі інверсії над джерелом. Концентрація домішки зростає, якщо основа інверсійного шару розміщена близько до джерела, а його рівень невисокий. У випадку, коли затримуючий шар перебуває безпосередньо над джерелом викиду забруднювальних речовин, зростання максимальної приземної концентрації легких домішок відносно її величини в нормальних умовах становить від 50 % до 100%. Зростання приземної концентрації є істотним тільки на великих відстанях, якщо нижня межа підвищеної інверсії перебуває над джерелом на висоті 200 м і більше.

Вплив інверсійних шарів на рознесення викидів важких домішок виявляється слабшим, ніж для легких. Цей вплив зменшується зі зростанням розмірів частинок домішок.

Значне підвищення концентрації домішок у приземному шарі атмосфери можливе тоді, коли штильовий шар перебуває нижче від джерела, а на рівні викидів швидкість вітру близька до небезпечної швидкості вітру для групи джерел з різними параметрами викидів (U_m). Слід зазначити, що чим товщий шар з ослабленою швидкістю вітру, тим сильніший його вплив. Згідно з розрахунками за наявності штильового шару від поверхні землі до рівня 30 м максимальна концентрація домішки від джерела висотою від 100 м до 150 м збільшується приблизно на 70 % порівняно з концентрацією, коли штилю немає. Якщо штиль простягається вище за рівень джерела (наприклад, у центральній частині антициклону), концентрації домішок біля землі будуть невеликими внаслідок зростання початкового піднімання факела і значного збільшення ефективною висоти джерела, коли викиди гарячі.

Особливо сильне забруднення повітря біля землі спостерігається, коли під час холодних викидів підвищена інверсія, яка міститься безпосередньо над джерелом, супроводжується слабким вітром (близьким до штилю) у приземному шарі повітря. У цьому випадку концентрації домішки можуть у багато разів перевищувати концентрації за нормальних умов.

Небезпечність забруднення повітря значно зростає під час туманів, які часто супроводжуються підвищеною інверсією та штилем. Тумани акумулюють домішки із шарів повітря, що лежать вище, тому відбувається значне зростання концентрацій небезпечних речовин біля поверхні землі. Істотну роль тут може відігравати осідання великих краплин туману, внаслідок чого розчинена домішка із шарів повітря, що перебувають вище, опускається до підстильної поверхні. Крім того, у краплях туману часто відбувається

розчинення деяких шкідливих домішок, що сприяє утворенню речовини підвищеної токсичності, такі як сірчана кислота, плавикова кислота тощо [7].

Оцінюючи небезпечні метеорологічні умови, слід враховувати характер підстильної поверхні. У низинах можуть бути концентрації домішок у 1,5 – 2 рази вищі, ніж на рівнині.

Якщо промислові об'єкти розміщені на околиці міста або за його межами, на забруднення повітря в житлових районах дуже впливає напрям вітру. Тоді несприятливі умови погоди слід аналізувати, коли домішки зі сторони джерела викидів переносяться на житлові квартали.

Виділяють несприятливі напрями вітру в районі окремих об'єктів у зв'язку з різним ефектом накладання викидів від інших джерел. За деяких напрямів вітру додаткові концентрації, що створюються викидами підприємств, розміщених у місті, є максимальними. Підвищене забруднення повітря створюється також у випадках перенесення домішок зі сторони об'єкта на райони щільної забудови. У такій ситуації збільшується надходження до земної поверхні викидів зверху внаслідок підсилення обміну і утворення в районі забудови шару повітря з дуже слабким вітром. Концентрації домішок у приземному шарі повітря також підвищуються, якщо викиди разносяться із сторони джерела на ділянки зі складним рельєфом місцевості.

8.2. Прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря від окремих джерел та групи джерел

8.2.1. Встановлення несприятливих метеорологічних умов щодо окремих джерел

Для основних джерел викидів шкідливих домішок в атмосферу, що створюють високий рівень забруднення, прогнозують рівень забруднення повітря.

Для кожного джерела встановлюють несприятливі метеорологічні умови (НМУ), які призводять до високих концентрацій домішок у повітрі [14, 15, 16].

Визначають напрями вітру, які в житлових кварталах створюють високий рівень забруднення повітря, а саме:

- 1) викиди переносяться на міські райони від джерела, розміщеного на околиці;
- 2) відбувається максимальне накладання викидів від низки джерел;

3) викиди переносяться на райони міста зі щільною забудовою і складним рельєфом місцевості, де під впливом місцевих умов збільшується концентрація в повітрі.

Потім розраховують небезпечні швидкості вітру U_m : за формулою (8.2) – для джерел з гарячими викидами, а за формулою (8.3) – для джерел з холодними викидами, за формулою (8.4), – для лінійних джерел, урахувавши формули (8.5) та (8.6). Якщо на об'єкті домішки надходять від багатьох джерел з різними характеристиками, тоді поряд з небезпечною швидкістю вітру (U_m) для кожного з них розраховують середню зважену небезпечну швидкість вітру ($\bar{U}_{м.с.}$) за формулою (8.7).

Визначають висоту нижньої межі піднятої інверсії (H_2), з якою пов'язане формування небезпечних концентрацій, коли інверсія перебуває над джерелом, але не вище ніж 300 м над ним.

Для кожного об'єкта існують свої несприятливі метеорологічні ситуації, за яких можуть формуватися великі концентрації домішок у приземному шарі атмосфери. На великих підприємствах (металургійних, нафтопереробних та інших) умови, що визначають значне скупчення домішок у повітрі, можуть бути неоднакові для різних цехів і підприємств (у зв'язку з різними параметрами викидів).

У таких випадках необхідно детальніше вивчати несприятливі метеорологічні умови і враховувати особливості забезпечування прогнозами цих об'єктів. Тоді попередження про можливе зростання концентрацій можуть відноситись не до всього підприємства, а тільки до його окремих виробництв.

На більшій частині об'єктів відбуваються неорганізовані викиди на малій висоті. У таких випадках несприятливим є застій повітря, а найбільша концентрація буває у прилеглих кварталах і безпосередньо на підприємстві.

8.2.2. Характерні комплекси НМУ для групи джерел

За наявності великої кількості джерел, що обслуговуються, їх розділяють на групи, враховуючи висоти та інші параметри і визначаючи для кожної з них несприятливі метеорологічні умови (НМУ) [4, 14, 15, 16, 24].

Складати прогнози або попередження слід для всіх джерел виділеної групи.

Щоб спрогнозувати рівень забруднення повітря від сукупності джерел, потрібно зібрати дані про параметри викидів з усіх підприємств, розміщених на території, що обслуговується. Для цього потрібно:

- виконати критичний контроль зібраних даних про параметри викидів;
- розрахувати максимальні концентрації домішок у повітрі (C_m) для основних джерел і зробити остаточний відбір для підприємств, що обслуговуються;
- розрахувати небезпечну швидкість вітру (U_m) та визначити комплекс НМУ;
- на основі виконаного аналізу об'єднати джерела забруднення в декілька груп, щодо певних НМУ.

Щоб отримати потрібні дані, необхідно опрацювати томи матеріалів гранично допустимих викидів (ГДВ).

Коли не вдається зібрати і проаналізувати повні дані про параметри викидів джерел забруднення, на першому етапі слід орієнтуватися на типові комплекси НМУ. При цьому розглядають групи високих джерел з гарячими та холодними викидами, а також групи низьких джерел.

НМУ для основних груп джерел наведено в табл.8.1.

Таблиця 8. 1 – НМУ для основних груп джерел викидів

Характеристика викидів	Термічна стратифікація нижнього шару атмосфери	Швидкість вітру на рівні, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$		Вид інверсії, її висота над джерелом, м
		флюгера	викидів	
Гарячі високі	нестійка	3 - 7 штиль	5 - 10 5 - 10	підвищена 100 - 300
Холодні високі	нестійка	1 - 2 штиль	2 - 4 2 - 4	підвищена 100 - 300
Низькі	стійка	штиль	штиль	приземна

На основі прогнозу швидкості й напрямку вітру на території, висоти шару перемішування, туманів та урахування синоптичної ситуації — на синоптичній карті виділяють область з несприятливими умовами для окремих груп джерел. Повідомлення передають на підприємства, джерела викидів яких розміщені на цій території.

Приклад

У певній області над північно-східною частиною заданого регіону очікується вітер зі швидкістю $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} - 7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та піднята інверсія з нижньою межею 300 м – 500 м. У такій ситуації, попередження про потребу тимчасового зниження викидів передають на всі розміщені в цьому районі високі джерела з гарячими викидами, які, відповідно до очікуваного напрямку вітру, будуть переноситись на житлові квартали. У південній частині цього ж регіону, де проходить вісь малорухомого гребеня, можливий штиль і приземна інверсія протягом більшої частини доби. Це попередження відносять до всіх низьких джерел (автотранспорт, малі котельні, низькі викиди промислових підприємств тощо).

Для прогнозування висоти нижньої межі піднятої інверсії бажано враховувати близькість до неї висоти шару перемішування (H_n).

Приклад

Візьмемо будь-яке промислове об'єднання, на якому є джерело холодних викидів, параметри якого такі: $H = 120 \text{ м}$, $N = 2$ (труби), $D = 7$, $V = 3425 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Від кожної труби ($T = 22^\circ\text{C}$) в атмосферу надходять сірковуглець (CS_2) та сірководень (H_2S); $M_{\text{CS}_2} = 29,9 \text{ г/с}$, $M_{\text{H}_2\text{S}} = 5,5 \text{ г/с}$, $F = 1$.

Розрахунок був зроблений для теплої пори року. Згідно з “Указаннями по расчету рассеивания выбросов предприятий” T_b — це середня температура в липні о 13 год. Якщо в Києві $T_e = 23,5^\circ\text{C}$, тоді $\Delta T = 22^\circ\text{C} - 23,5^\circ\text{C} = -1,5^\circ\text{C}$. Тобто всі розрахунки проводимо за формулами для холодних викидів. Спочатку розраховують максимальні концентрації домішок за формулою (8.9). Для цього за рис.8.2 і параметром джерел з холодними викидами (v'_m), обчисленим за формулою (8.3), розраховують коефіцієнт n , визначивши перед цим швидкість виходу димових газів з гирла джерела (ω_0) за формулою (8.6)

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot 342,5}{3,14 \cdot 7^2} = \frac{13,70}{153,86} \approx 8,9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (8.11)$$

$$\text{тоді} \quad v_m = \frac{1 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 7}{120} = 0,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (8.12)$$

З рис. 8.2 визначаємо n , яке дорівнює 1,8, і далі:

$$C_{\text{MCS}_2} = \frac{160 \cdot 29,9 \cdot 1,8}{120 \cdot \sqrt[3]{120}} \cdot \frac{7 \cdot 2}{8 \cdot 342,5} = \frac{62000,64}{1611120} = 0.038 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (8.13)$$

$$C_{\text{MH}_2\text{S}} = \frac{160 \cdot 5,5 \cdot 1,8}{120 \cdot \sqrt[3]{120}} \cdot \frac{7}{8 \cdot 342,5} = \frac{11088}{1611120} = 0.007 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}. \quad (8.14)$$

Отже, розраховані максимальні концентрації сірковуглецю перевищують ГДК ($\text{ГДК}_{\text{CS}_2} = 0,03$), а наявність сірководню виявляється нижчою за ГДК ($\text{ГДК}_{\text{H}_2\text{S}} = 0.008$). Проте під час аномальних НМУ концентрації H_2S можуть перевищувати ГДК, при цьому необхідно відмітити, що у разі холодних викидів перевищення над максимальними концентраціями (C_m) більше, ніж у випадках гарячих викидів.

На основі виконаних розрахунків робимо висновок про потребу зменшення викидів на цьому хімічному підприємстві під час НМУ та надсилаємо йому відповідне попередження.

Далі розраховуємо небезпечну швидкість вітру (U_m) за умови, що параметр джерела з гарячими викидами (v_m) більший за $0,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, але менший або дорівнює $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, тобто $U_m = v_m$. У нашому випадку $U_m = 0,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. За інтервал небезпечних швидкостей вітру вважають швидкість, що не перевищує $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Оскільки об'єкт розміщений на території міста, викиди переносяться на житлові квартали в усіх напрямках. Але за північно-східного та за східного вітру має місце накладання викидів від інших джерел. Тому поєднання НМУ з найбільш інтенсивним забрудненням повітря для підприємства відбувається за таких умов:

- швидкість вітру біля поверхні землі від $0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а нижня межа піднятої інверсії перебуває на висоті від 120 м до 300 м;
- біля поверхні землі штиль, а на висоті від 100 м до 200 м швидкість вітру — від $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$;
- туман за швидкості вітру біля поверхні землі, що не перевищує $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$;
- північно-східний та східний напрями вітру за швидкості, що не перевищує $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Примітка. У розрахунки для Києва були включені 23 основних підприємства, а також низькі неорганізовані джерела, зокрема й автотранспорт.

У результаті проведеної роботи було виділено, виходячи з параметрів викидів, три групи джерел, для кожної з яких сформовано НМУ.

9. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ПІД ЧАС РОЗРОБЛЮВАННЯ СХЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ

Для розроблювання схем прогнозування забруднення повітря в місті використовують різні методи статистичного аналізу. Вибираючи метод, перевагу віддають такому, що дозволяє максимально виявити зв'язки забруднення з метеорологічними величинами, визначити основні фактори коливання концентрацій різних домішок у повітрі міста, дати задовільні оцінки справджуваності прогнозу і адекватно відтворити процес забруднення. Головним для статистичного аналізу є встановлення і правильна інтерпретація зв'язків між забрудненням та метеорологічними величинами. Обґрунтування вибраних предикторів слід проводити враховуючи теоретичні уявлення про процес розповсюдження домішок в атмосфері, а також результати впливу метеорологічних величин на забруднення на основі даних фактичних спостережень [2-13, 19, 20, 22-27].

Вибрані предиктори повинні бути статистично значущі. Серед методів статистичного аналізу щодо прогнозування забруднення повітря найбільш поширеним є метод множинної регресії та всі його модифікації [4, 6, 8, 9, 13, 19, 20, 22-27].

9.1. Метод множинної регресії

Найбільш прийнятним для практичного використання в оперативній роботі є метод множинної лінійної регресії з використанням предикторів і предиктанта в їхньому природному вигляді. Предиктант (у нашому випадку параметр Q), залежно від метеорологічних величин і попереднього значення Q' , розраховують за формулою:

$$Q = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + \dots + B_nx_n, \quad (9.1)$$

де x_1, x_2, x_n – предиктори (метеорологічні величини і попереднє забруднення повітря);

$B_1, B_2, \dots, B_n$ – параметри рівняння регресії (вагові коефіцієнти),

B_0 - вільний член рівняння.

Значення $B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$ визначають методом найменших квадратів під час опрацювання фактичного матеріалу спостережень.

Складові для формули (9.1) визначають на основі матеріалів вивчення концентрацій домішок за даними пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря мережі Держгідромету.

Метеорологічні величини визначають за результатами спостережень на метеорологічних станціях і пунктах радіозондування.

При цьому розрахунок схеми прогнозування доцільно робити кроковим способом, що дозволяє відбирати інформативні предиктори та розраховувати рівняння регресії та його статистичні оцінки на кожному кроці. Отже, з'являється можливість з кількох рівнянь вибрати найкраще.

Для реалізації статистичної моделі шляхом множинної лінійної регресії розроблено прогностичні схеми окремо для кожного міста з урахуванням особливостей розповсюдження забруднювальних речовин і метеорологічних умов формування рівнів забруднення атмосферного повітря для цієї території. Саме так прогностичні схеми для короткострокового прогнозування забруднення повітря (завчасністю від 24 до 36 год) розраховано за матеріалами спостережень у Харкові, Кривому Розі, Черкасах, Запоріжжі, Донецьку, Маріуполі, Луганську, Дніпропетровську, Одесі, Києві. На цьому етапі дослідження в прогностичних схемах як предиктант використовують середню по місту нормовану концентрацію домішки $\bar{Q}$, яка отримана за трьома і більше строками спостережень [11, 20].

Для розроблення прогностичних схем з урахуванням комплексного впливу предикторів на забруднення повітря для кожного міста окремо побудовано множинну лінійну регресію на перетворених предикторах з використанням крокового аналізу. При цьому на кожному кроці відбирають найбільш значущий предиктор за величиною парного коефіцієнта кореляції. За розрахованими коефіцієнтами множинної лінійної регресії, критеріями Фішера і Стюдента визначають потребу включення в рівняння нових факторів.

Методом найменших квадратів розраховують прогностичні рівняння регресії, оцінюють їхню справджуваність. Побудова рівняння закінчується на тому кроці, після якого підвищення множинного коефіцієнта кореляції стає не значущим.

Приклад

Нижче наведено рівняння і коефіцієнт множинної кореляції (R) для Донецька:

зима:

$$Q_{\text{плл}} = 0,17d_{03} + 0,29d_{15} + 0,53C + 0,88Q' - 0,85; \quad R = 0,75;$$

$$Q_{\text{NO}_2} = 0,58T + 0,58v_{03} + 0,96Q' - 1,12; \quad R = 0,68;$$

літо:

$$Q_{\text{SO}_2} = 0,30d_{03} + 0,32d_{15} + 0,41C + 0,91Q' - 0,94; \quad R = 0,76.$$

Для Дніпропетровська:

зима:

$$Q_{\text{плл}} = 0,37T + 0,30d_{03} + 0,55d_{15} + 0,48C + 0,73Q' - 1,39; \quad R = 0,72;$$

$$Q_{\text{NO}_2} = 0,69T + 0,57v_{03} + 0,57d_{15} + 0,83Q' - 1,63; \quad R = 0,69;$$

літо:

$$Q_{\text{плл}} = 0,39T + 0,36d_{03} + 0,45v_{03} + 0,55C + 0,62Q' - 1,39; \quad R = 0,75;$$

$$Q_{\text{NO}_2} = 0,70d_{03} + 0,61C + 0,85Q' - 1,16; \quad R = 0,80.$$

Рівняння регресії розроблено для зими і літа. Параметр $\bar{Q}$ був розрахований за даними спостережень за 01год, 07год, 13год і 19год. Після кожного рівняння наводиться значення коефіцієнта множинної регресії між предиктантом і предикторами. У результаті

маємо просте регресійне рівняння, на основі якого за відомими значеннями предикторів (прогностичних або вимірних) легко можна розрахувати очікуване значення показника забруднення повітря в місті. Недоліком цієї схеми є те, що враховується тільки лінійна кореляція. Реальні зв'язки мають складніший характер. Предиктор може бути включений в схему множинної лінійної регресії тільки у випадку, коли між ним і предиктантом є значуща лінійна кореляція.

Позитивні наслідки дає перетворення предикторів [9]. Це пояснюється тим, що зв'язки між забрудненням та основними факторами нелінійні. Щоб виключити нелінійність зв'язків, предиктори можуть бути перетворені з урахуванням реального вигляду зв'язків між концентраціями і метеорологічними величинами. Перетворення полягає в наступному. За матеріалами фактичних спостережень вивчають емпіричні зв'язки між характеристиками забруднення повітря в місті (параметр Q та інші) і кожним з метеорологічних предикторів. Результати узагальнення цих зв'язків постають у вигляді графіків або таблиць. Далі, за даними кореляційних кривих або таблиць, величину метеорологічного показника замінюють на середнє значення характеристики забруднення повітря (або повторюваність підвищених значень показника забруднення), що їм відповідають. Цей метод зручний тим, що дозволяє виразити всі характеристики в однакових одиницях виміру, а також включити безпосередньо в схему не тільки кількісні, але і якісні, або векторні показники (тип синоптичного процесу, напрям вітру тощо). Він враховує реальний вид зв'язків, що вивчаються. Зв'язки між перетвореними предикторами і предиктантом стають лінійними. Це дає підставу розробляти прогностичну схему з використанням методу множинної лінійної регресії.

9.2. Розроблювання схем прогнозування забруднення повітря в місті методом послідовної графічної регресії

Крім розглянутих методів важливе місце в практиці посідає метод послідовної графічної регресії [14, 15, 24]. На першому етапі розроблювання схеми за методом послідовної графічної регресії будують графіки, на кожному з яких установлюють залежності узагальненого показника забруднення повітря (P , Q , α) в місті від попарних предикторів.

Ці графіки називаються попередніми. На кожному з них проводять ізолінії показника забруднення повітря і будують поле забруднення, яке визначають за двома предикторами.

Припустимо, що на одному з графіків отримано поле забруднення повітря, яке залежить від парних предикторів X_i і X_j – $P_1(X_i, X_j)$, а на другому — від парних предикторів X_k і X_e – $P_2(X_k, X_e)$.

Примітка. P_1 та P_2 розглядаються як комплексні метеорологічні предиктори, які більше, ніж початкові, впливають на вміст домішок у повітрі.

Наступний графік встановлює залежність забруднення повітря від Π_1 і Π_2 , а через них — від усіх чотирьох предикторів:

$$\Pi_3 = f[\Pi_1(X_i, X_j), \Pi_2(X_k, X_e)], \quad (9.2)$$

Графіки об'єднують попарно, доки на кінцевому графіку не буде встановлена залежність узагальненого показника забруднення повітря в місті від усіх предикторів, що використовуються.

За такого підходу залежність забруднення повітря від метеорологічних факторів враховується у вигляді, що реально існує в конкретному місті в заданий період року.

Певні труднощі можуть виникнути під час розроблювання схеми на етапі побудови попередніх графіків, тому що два предиктори однозначно не визначають рівень забруднення повітря в місті. За достатньої кількості матеріалу графіки ділять на квадрати, для кожного з яких розраховують середні значення показника забруднення повітря або повторюваність його підвищених значень. Потім на графіку проводять ізолінії цих характеристик. У реальних умовах завдання ускладнюється тим, що в окремих частинах графіка кількість точок зі значеннями узагальненого показника забруднення може бути недостатньою. У такому випадку спочатку виконують такі операції:

1) за даними спостережень вивчають зв'язки між предиктантом та включеними в схему предикторами;

2) у відповідних точках графіків наносять щоденні значення узагальненого показника забруднення повітря в місті залежно від значень використовуваних предикторів;

3) на графіках, ураховуючи реальні зв'язки і відомі фізичні закономірності, виділяють області з відносно високою та відносно низькою повторюваністю (Π) підвищених значень узагальненого показника забруднення, повторюваність підраховують окремо в кожній з виділених ділянок;

4) проводять ізолінії Π ;

5) на основі попарного об'єднання попередніх графіків будують кінцевий графік, на якому виділяють три ділянки, що відповідають трьом групам забруднення повітря і проводять ізолінії узагальненого показника забруднення.

Розглянемо побудову прогностичної схеми на конкретному прикладі, використовуючи параметр P як предиктант, а v_0 , ΔT , v_{925} , P' — як предиктори [14]. У цьому випадку v_0 і ΔT краще враховувати разом. Іншою парою предикторів будуть v_1 і P' . За наявності чотирьох предикторів будують два попередні графіки, на яких подані поля характеристик $\Pi_1(v_0, \Delta T)$ і $\Pi_2(v_1, P')$. На заключному графіку, де використані предиктори Π_1 і Π_2 , одержуємо поле параметра P' :

$$P = F[\Pi_1(v_0, \Delta T), \Pi_2(v_{925}, P')], \quad (9.3)$$

Перед побудовою двох попередніх графіків і проведенням на них ізоліній Π_1 і Π_2 вивчають зв'язки між забрудненням повітря і окремими предикторами. На рис. 9.1 наведено залежність параметра P від швидкості вітру на висоті флюгера (v_0), а на рис. 9.2 цю залежність уже наведено окремо за наявності і відсутності приземної інверсії.

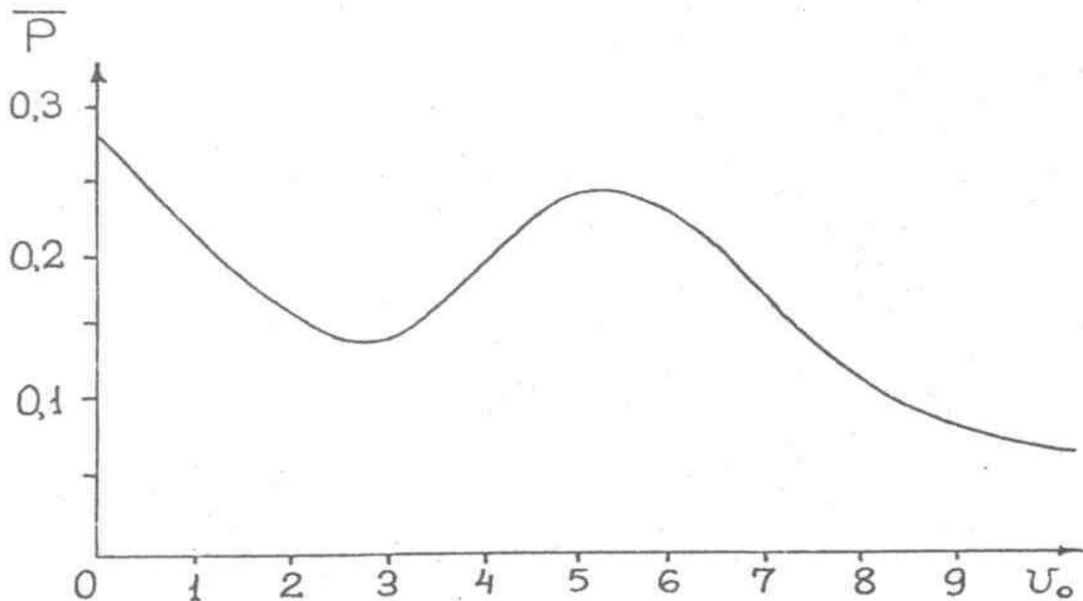


Рисунок 9.1 – Середнє значення параметра P залежно від швидкості вітру на висоті флюгера

Отримані криві покладено в основу виділення ділянок на графіку, де нанесені всі значення параметра P залежно від значень v_0 і ΔT . Так, на рис. 9.1 виділяються два максимуми забруднення повітря, що залежать від v_0 : за наявності штилю і v_0 , що приблизно дорівнює $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

На рис. 9.2 відображено, що в інверсійних умовах основний максимум відмічається під час штилю (у випадках, коли інверсія відсутня за швидкості вітру приблизно $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$). Звідси випливає, що ділянки з підвищеним рівнем забруднення повітря виявлятимуться на графіку за умови, що дуже слабкий вітер супроводжується інверсією в нижньому шарі повітря, а швидкість вітру ($5\text{-}6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) супроводжується позитивними значеннями ΔT .

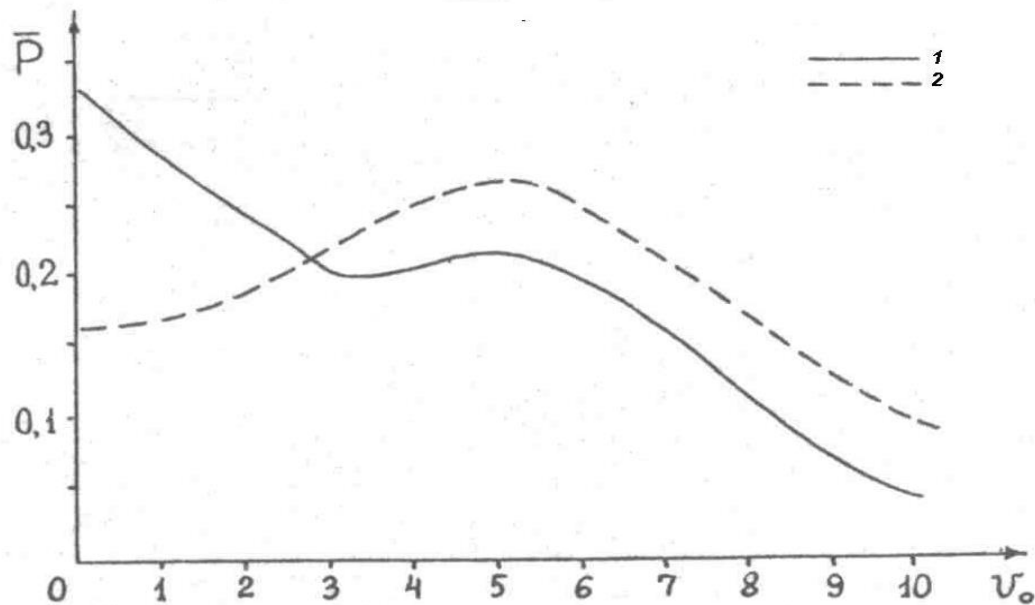


Рисунок 9.2 – Середнє значення параметра P залежно від швидкості вітру на висоті флюгера за наявності (1) та відсутності (2) приземної інверсії.

Ділянка з низьким забрудненням повітря виявляється за великих значень швидкості вітру, при цьому вітер у цій області сильніший за умови нестійкої термічної стратифікації в порівнянні з інверсійними умовами.

Інша ділянка з низьким рівнем забруднення повітря повинна виникати у випадках поєднання дуже слабкого вітру й нестійкої стратифікації. Очевидно, що між указаними чотирма ділянками має місце проміжна – п'ята ділянка. На рис. 9.3(а) маємо п'ять виділених на графіку ділянок.

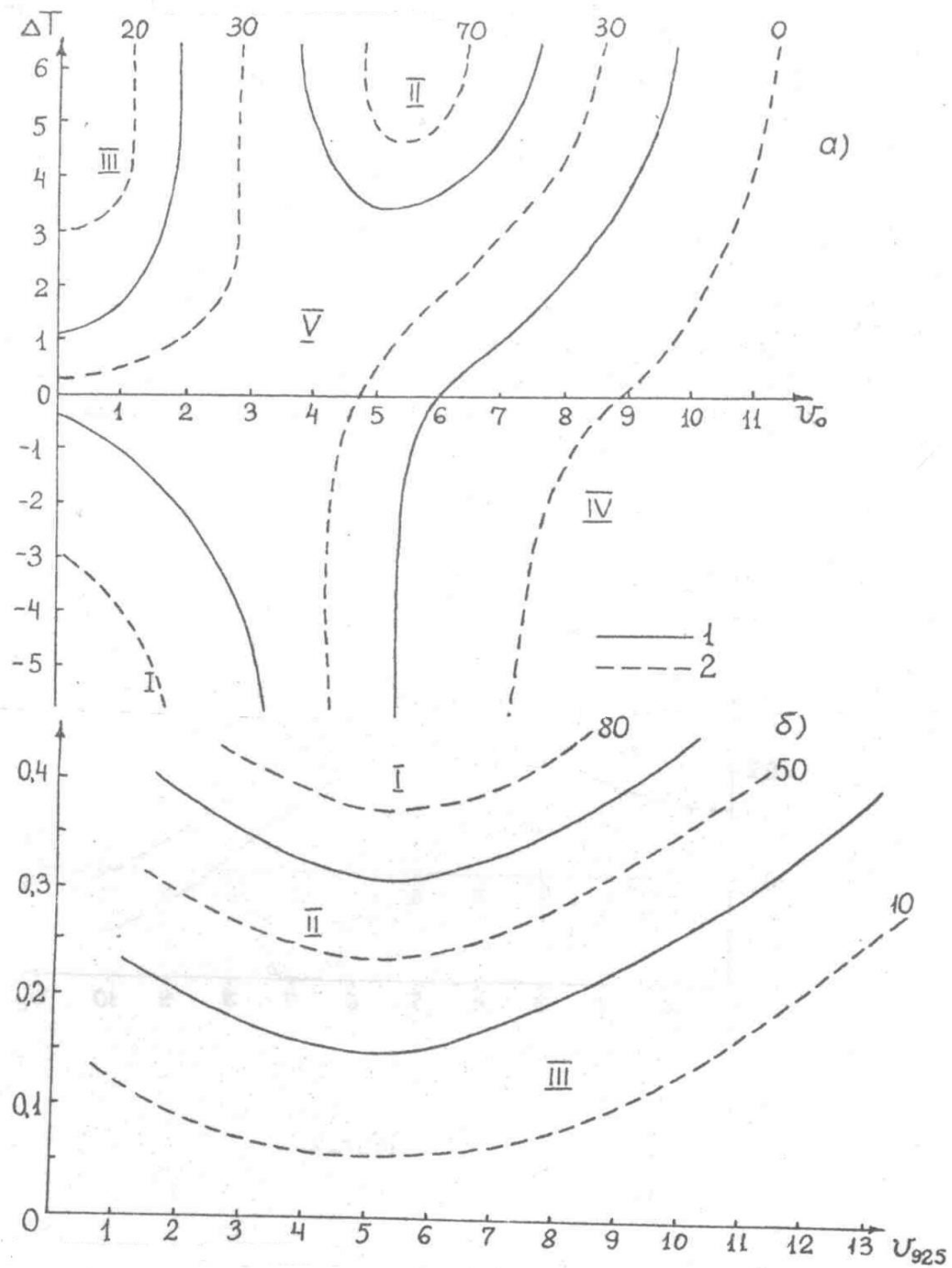


Рисунок 9.3 – Области з різним рівнем забруднення повітря
на попередніх графіках

1 – межі областей; 2 – ізолінії P посередині виділених областей

Вони були виділені з урахуванням фактичного розподілу значень параметра P ,
нанесених на рис. 9.4.

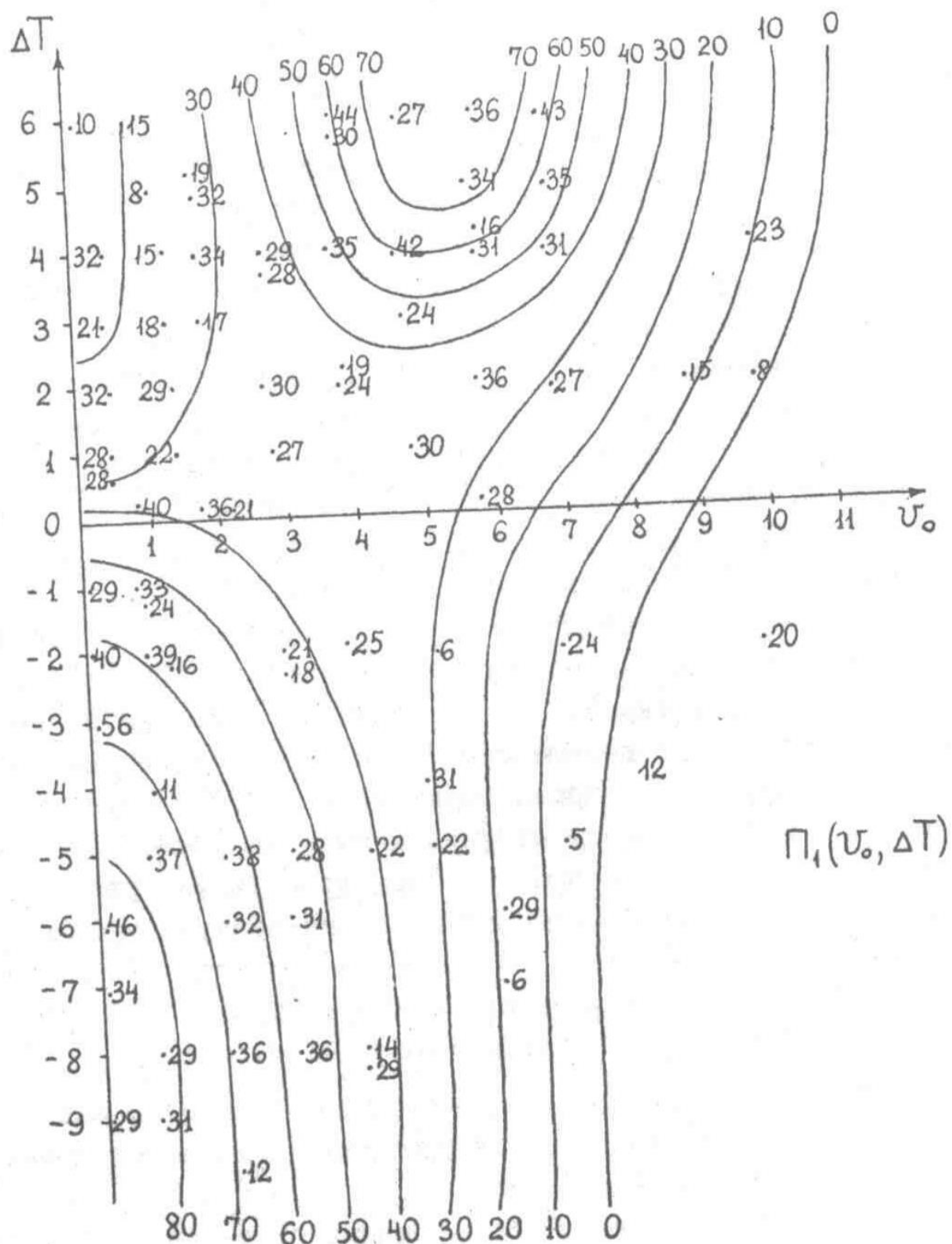


Рисунок 9.4 – Перший попередній графік

На рис. 9.3 можна побачити повторюваність значень параметра P більше або дорівнює 0,30 (Π). У ділянках I і II значення Π становить приблизно 70%, у ділянці III –

приблизно 20%, у IV — 0%, а в V — приблизно 30%. Ізолінії $\Pi_1 (v_0, \Delta T)$ проводять методом інтерполяції (рис 9.4).

Залежно від v_{925} і P' аналогічно проводять ізолінії Π_2 на іншому графіку (рис.9.5).

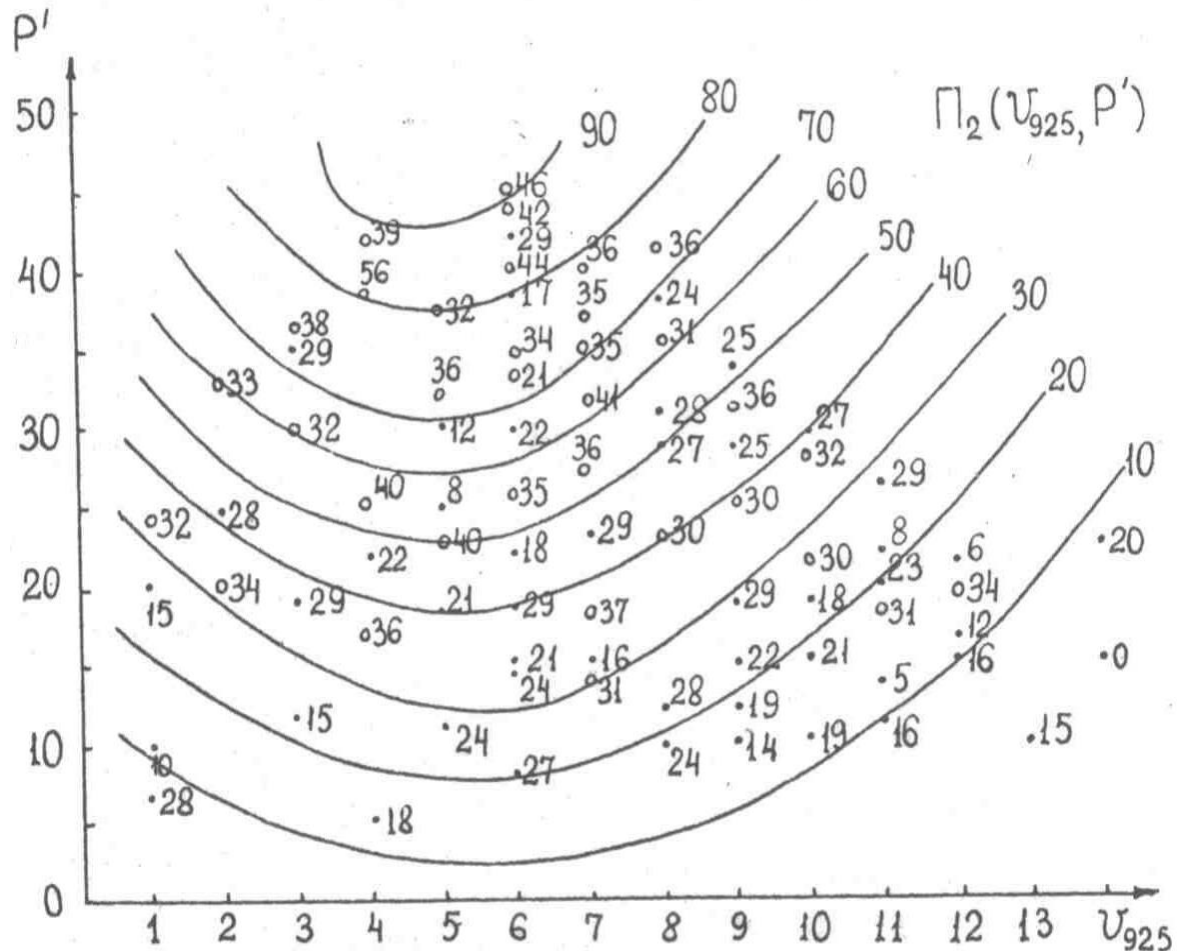


Рисунок 9.5 – Другий попередній графік

Заздалегідь було встановлено, що P зменшується з посиленням швидкості вітру на рівні АТ-925гПа, але забруднення повітря дещо знижується за дуже низьких значень v_{925} . Значення P зростає зі збільшенням P' .

Ураховуючи наведене вище, на графіку виділяють три ділянки зі значенням $\Pi_2 (v_{925}, P')$ — відповідно 80%, 50% і 10%. (див. рис. 9.3(б)). На цій підставі проводять ізолінії Π_2 (рис. 9.5).

Для побудови заключного графіка (рис. 9.6) для кожного дня всього ряду спостережень за величинами v_0 і ΔT з рис. 9.4 знімають значення Π_1 , а за величинами v_{925} і P'' з рис. 9.5 — значення Π_2 .

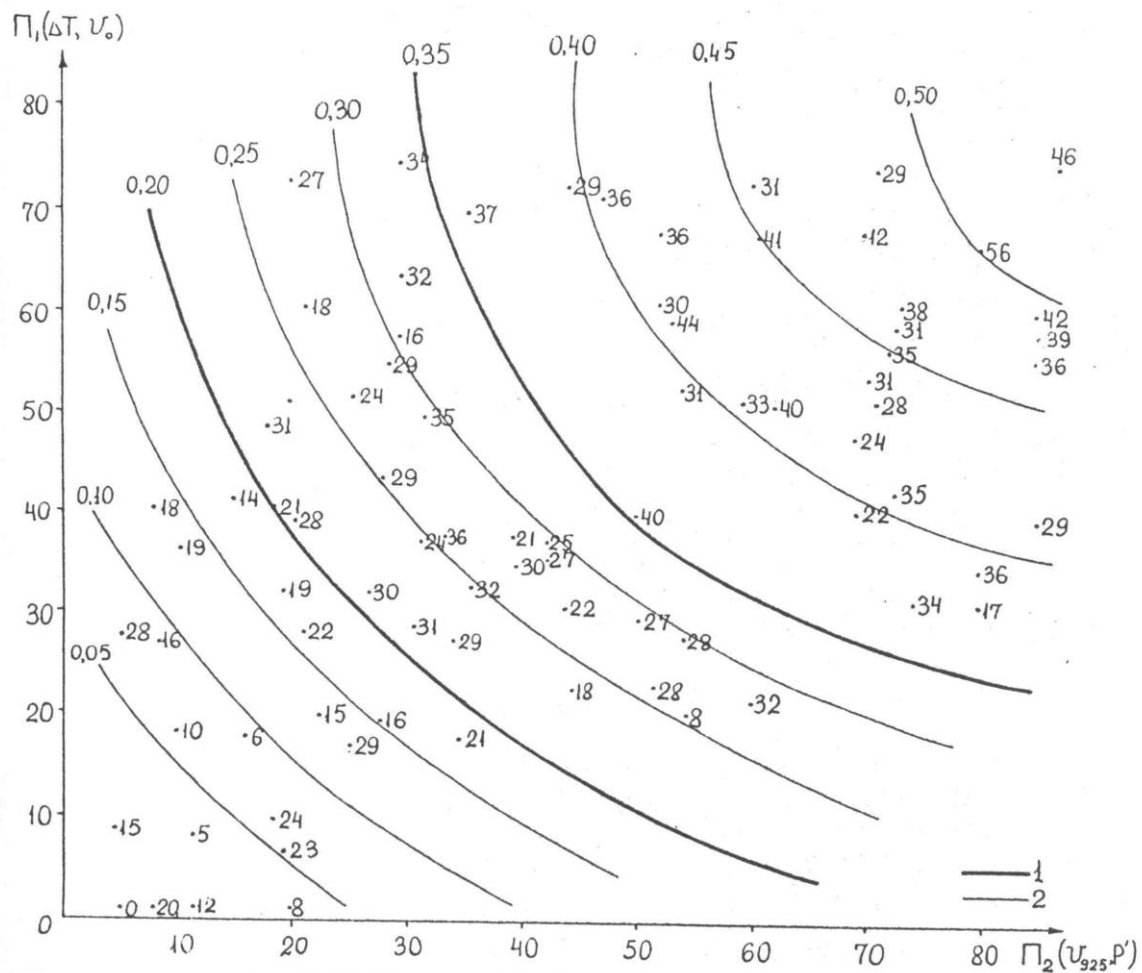


Рисунок 9.6 – Заключний графік

- 1 – межа між областями, які відповідають трьом групам забруднення повітря,
2 – ізолінії параметра P

Осями координат заключного графіка є P_1 і P_2 . У відповідних точках перетину наносять значення параметра P .

Приклад

В один з днів предиктори мають такі значення:

$$v_0 = 3 \text{ м/с}; \Delta T = -6^\circ \text{C}; v_{925} = 6 \text{ м/с}, P' = 0,33$$

За графіками на рис. 9.4 знаходимо значення P_1 , яке становить 53, а на рис. 9.5 — значення P_2 , що дорівнює 72. На заключному графікові (рис. 9.6) у точці (53; 54) наносимо відповідне значення параметра P : P , що дорівнює 0,31.

На заключному графікові насамперед виділяють три ділянки, що відповідають трьом групам параметра P . Конфігурація ділянок повинна бути приблизно такою, як на рис. 9.6, тому що параметр P повинен збільшуватися з підвищенням P_1 і P_2 . Ділянки виділяють так, щоб справджуваність прогнозів груп забруднення повітря на залежному матеріалі була максимальною. Потім проводять ізолінії параметра P , при цьому лінію, що ділить області високого і підвищеного забруднення повітря, беруть за ізолінію 0,35, а область підвищеного

і зниженого забруднення – за ізолінію 0,20. Решту ізоліній проводять методом інтерполяції (рис. 9.6).

Якщо в момент складання прогнозу немає оперативних даних вимірюваних концентрацій домішок, потрібно встановити, який рівень забруднення повітря можуть сформувані тільки метеорологічні величини. Для цього схему розробляють у такому варіанті, щоб характеристика вихідного забруднення повітря в місті (P' , Q') була використана як предиктор на останньому етапі. Тоді є можливість складати прогноз без урахування цього предиктора, але використовуючи метеорологічні предиктори. Схема, розроблена для одного з міст будь-якого географічного району, може бути використана (без включення в цю схему P' , Q') в інших містах цього району, що має близькі за структурою викиди. Ця схема може бути використана також для інших міст, якщо з якихось причин затримується доступ прогнозиста до оперативної інформації про забруднення повітря.

Наведено прогноз забруднення повітря в місті Запоріжжя з використанням показника забруднення Q [18]. Розроблюючи схеми прогнозування забруднення повітря в місті методом послідовної графічної регресії, будують графіки, на кожному з яких встановлюють залежності показника забруднення повітря Q від пари параметрів.

Під час розроблювання прогностичної схеми для діоксиду азоту на першу половину дня в холодний і теплий періоди, як предиктори, використано:

V_{03} – швидкість вітру на висоті флюгера, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

ΔT – різниця температур між поверхнею землі і висотою 500 м над поверхнею землі, $^{\circ}\text{C}$;

C – тип синоптичного процесу;

$\overline{Q}$ – вихідна величина параметра Q .

Величина Q , яка прогнозується, є функцією чотирьох предикторів. Будують два попередні й один заключний (прогностичний) графіки для теплого (рис.9.7 – 9.9) і холодного (рис. 9.10 – 9.12) періодів.

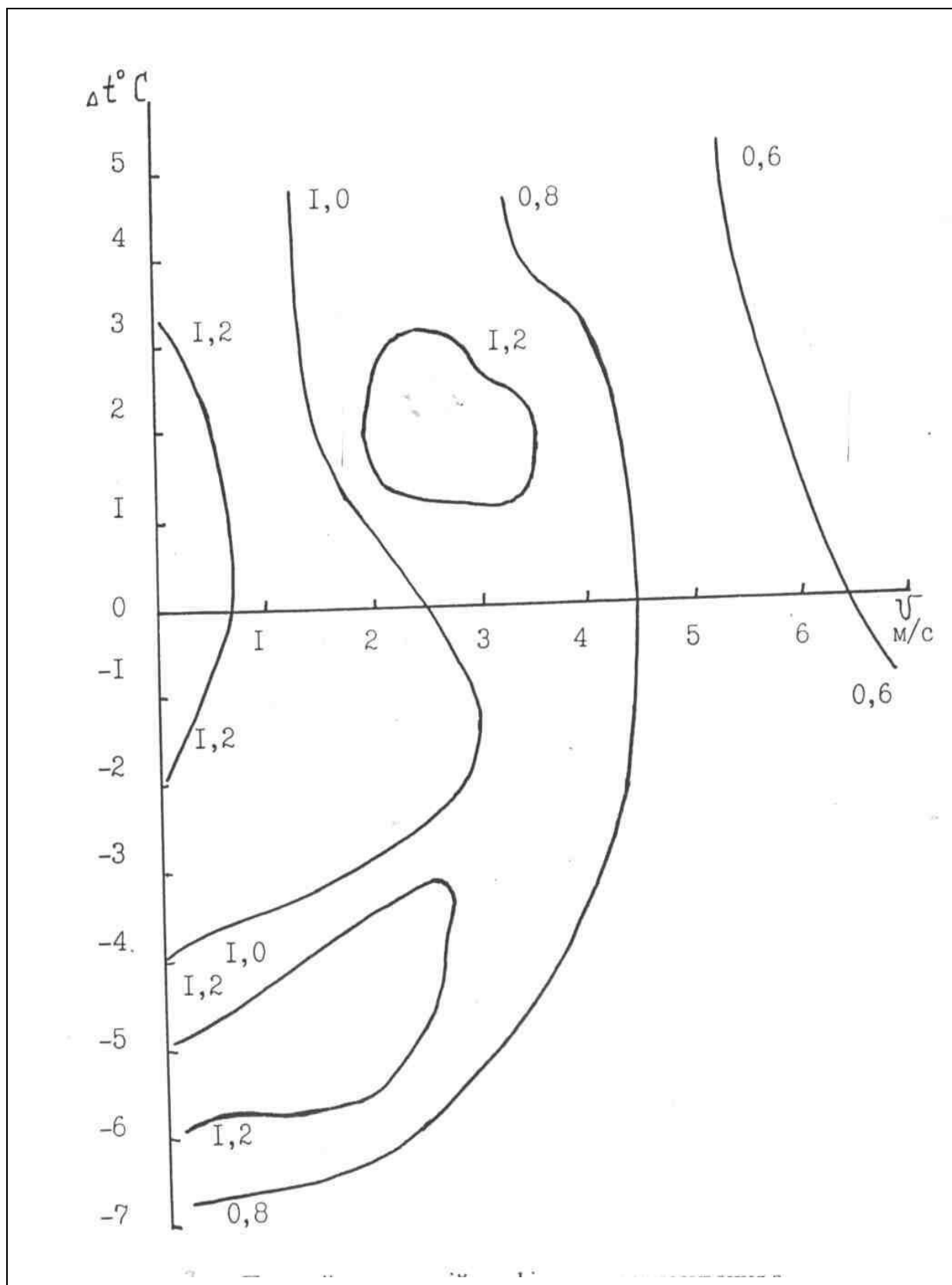


Рисунок 9.7 – Перший попередній графік для прогнозування забруднення повітря. Теплий період

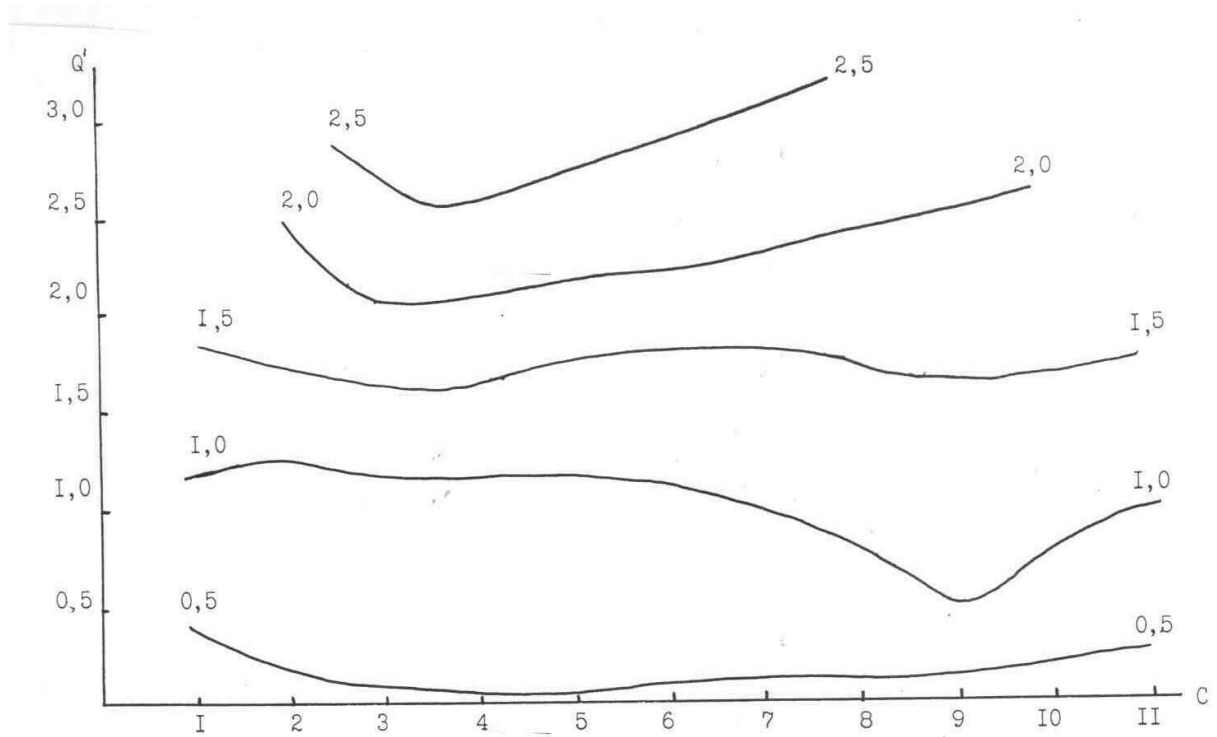


Рисунок 9.8 – Другий попередній графік для прогнозування забруднення повітря. Теплий період

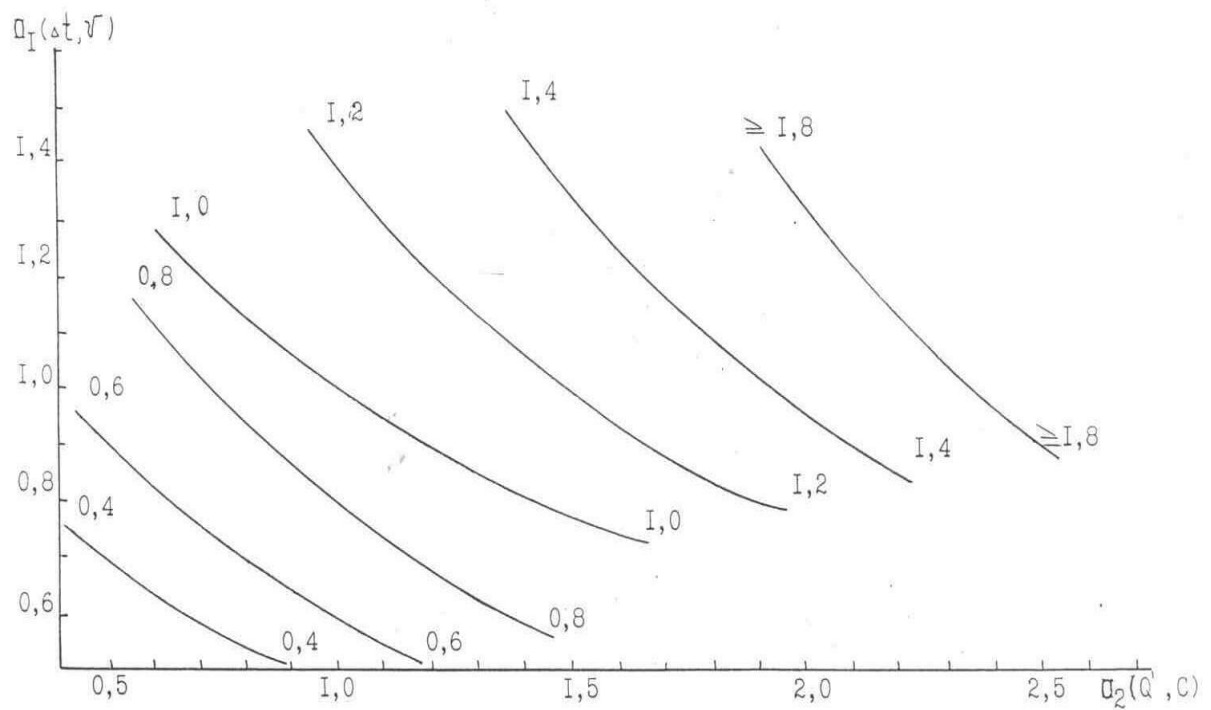


Рисунок 9.9 – Заключний графік для прогнозування забруднення повітря. Теплий період

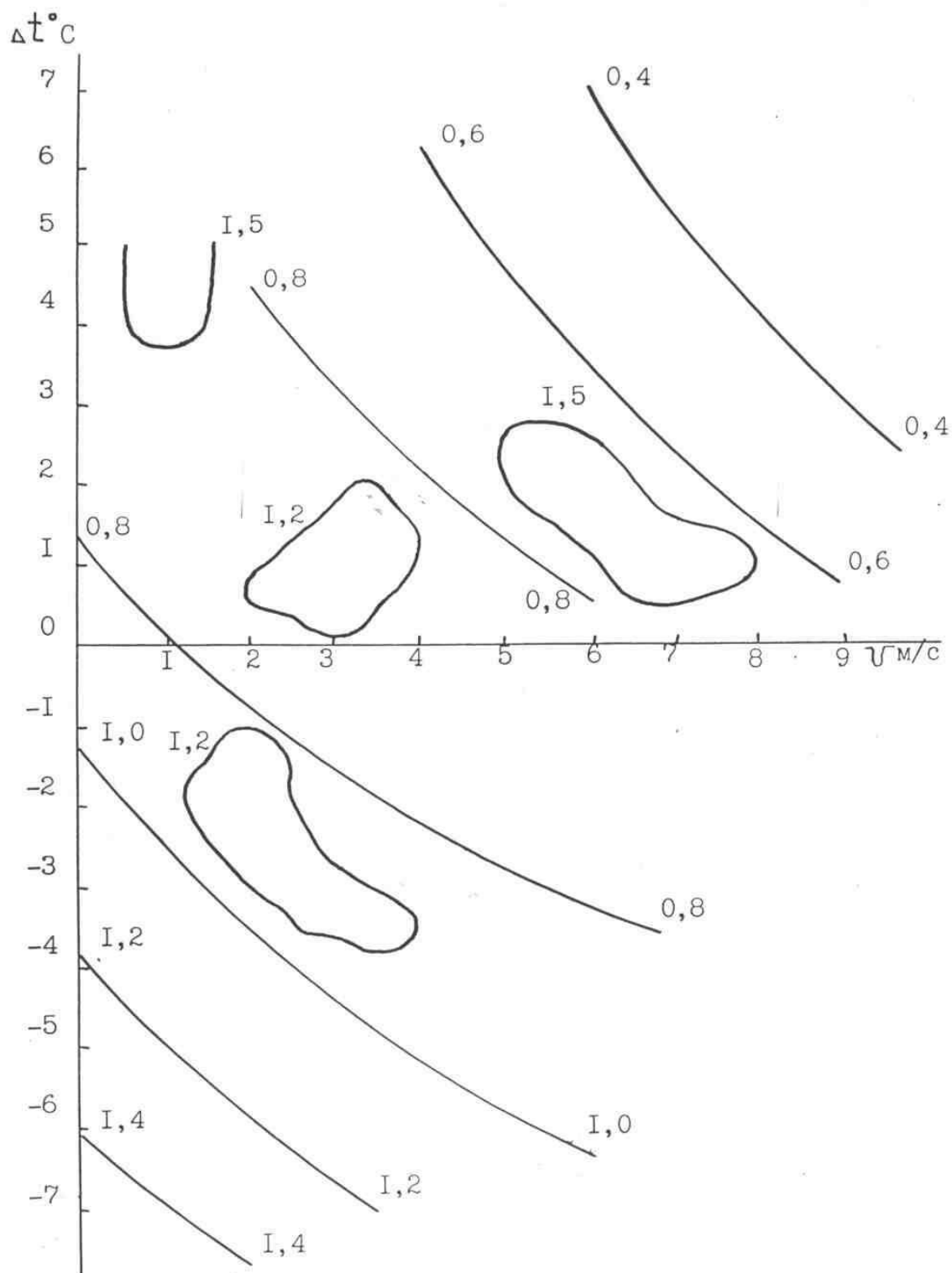


Рисунок 9.10 – Перший попередній графік для прогнозування забруднення повітря.
Холодний період

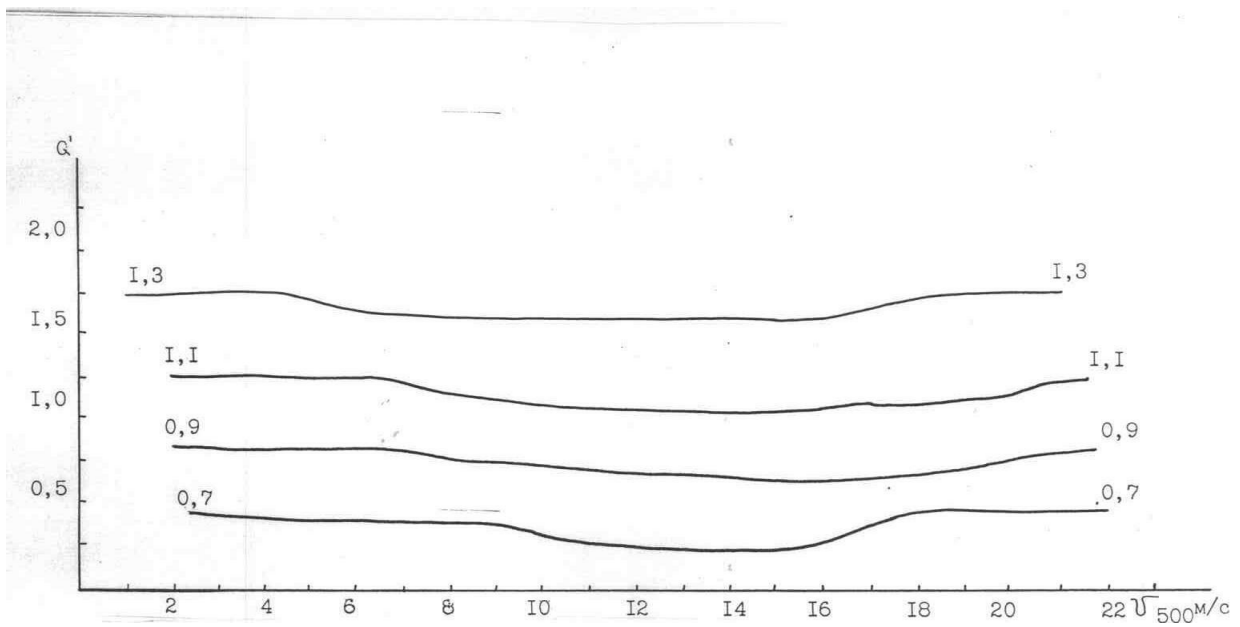


Рисунок 9.11 – Другий попередній графік для прогнозування забруднення повітря.
Холодний період

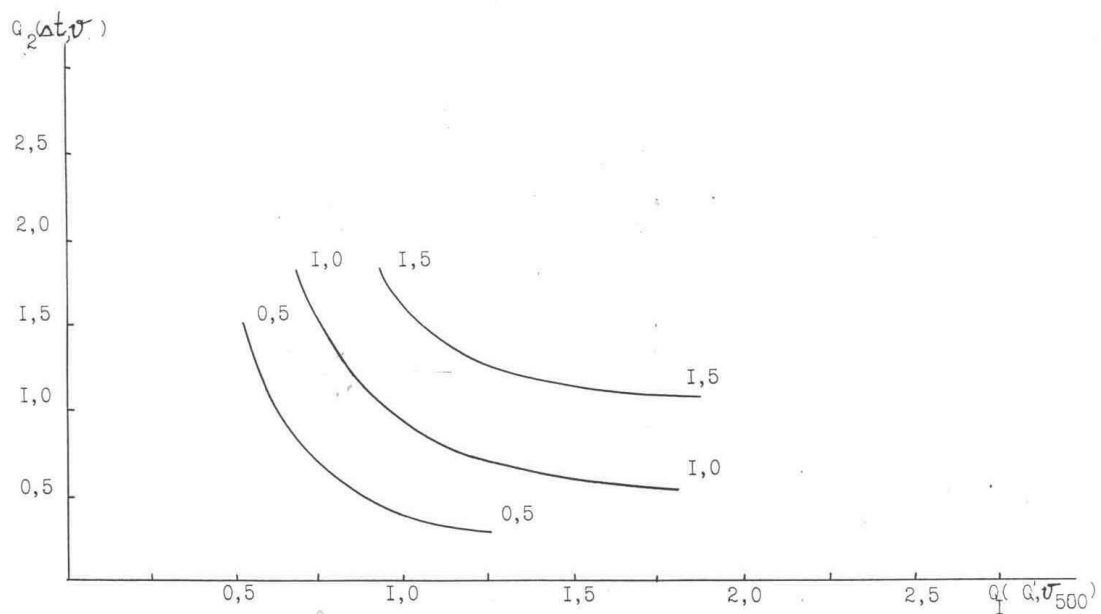


Рисунок 9.12 – Заключний графік для прогнозування забруднення повітря. Холодний
період

Порядок включення предикторів у схему наведено у формулі (9.3):

$$Q = f \{ [Q_1 (V, \Delta T); Q_2 (C, Q')] \}, \quad (9.3)$$

де Q – нормована концентрація;

Q_1 , Q_2 – повторюваність випадків високого забруднення повітря.

Комплекси метеорологічних характеристик на графіках виділено з урахуванням реального характеру впливу метеорологічних умов на рівень забруднення в місті. Це дуже підвищує значимість предикторів. Прогноз здійснюється так: за прогностичними даними ν_{03} , Δt , C , Q' з попередніх графіків для теплого періоду року (рис. 9.7, 9.8) знімають значення Q_1 , Q_2 . Величина Q , що прогнозується, знімається з заключного графіка за значеннями Q_1 , Q_2 (рис.9.9).

Для холодного періоду року з графіків на рис. 9.10 і рис. 9.11 знімають показники Q_1 , Q_2 . Величину Q , яку прогнозують, знімають з заключного графіка (рис. 9.12) за значеннями Q_1 , Q_2 .

Приклад

Скласти прогностичну схему методом послідовної графічної регресії на прикладі м. Донецька, використовуючи параметр P [14, 15]. На рис. 9.13 подано схему, побудовану за матеріалами спостережень у Донецьку в зимовий період, де немає аерологічних спостережень.

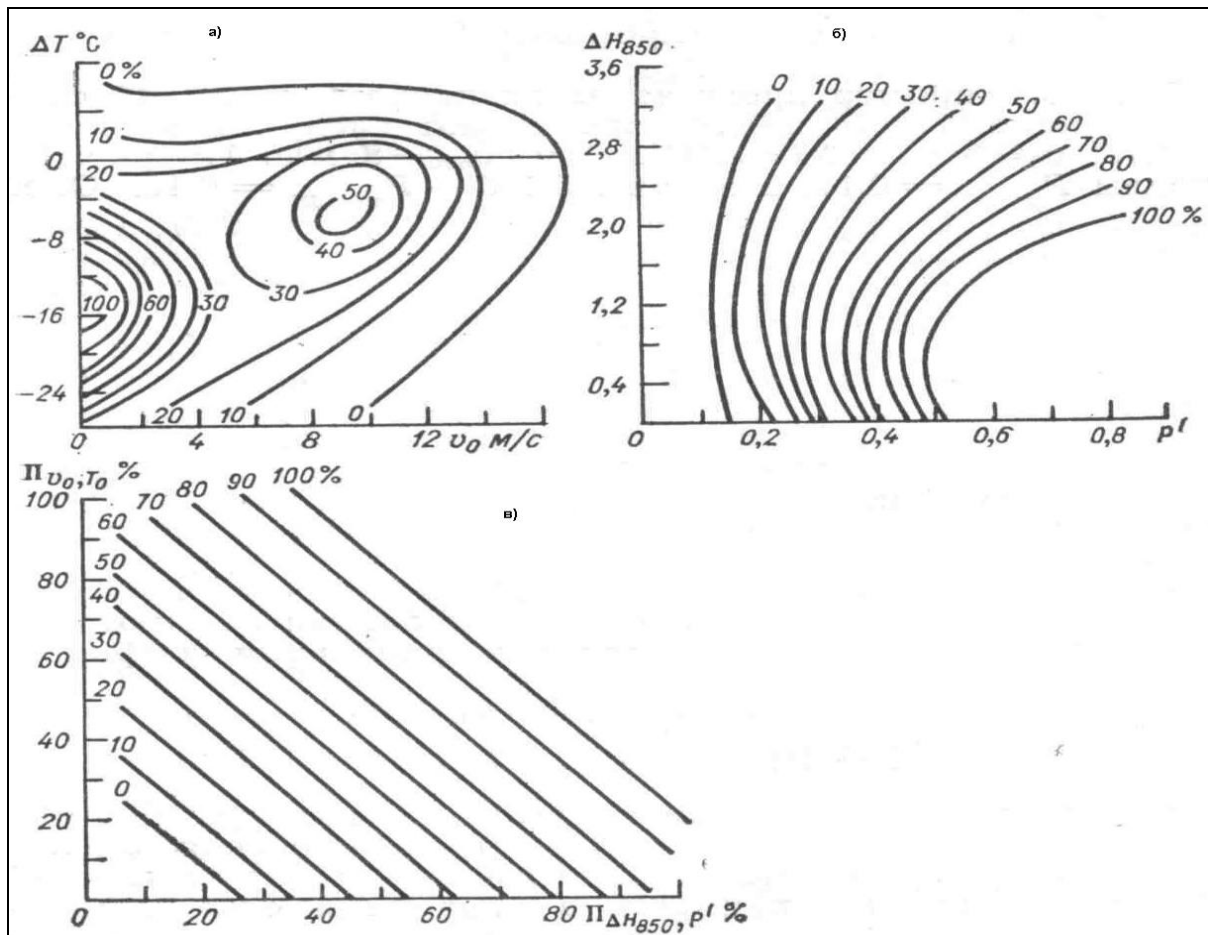


Рисунок 9.13 – Графіки для передбачення забруднення повітря у Донецьку, взимку.

а) - повторюваність випадків, коли $P \geq 0,30$ залежно від температури повітря T_0 і швидкості вітру на рівні флюгера ν_0 ; б) – повторюваність випадків $P \geq 0,30$ залежно від градієнта геопотенціалу на рівні ΔT_{850} (H_{850}) і від величини P' ; в) – прогнозована вірогідність випадків, коли $P \geq 0,30$, яка визначається за чотирма предикторами.

У зв'язку з відсутністю даних аерологічних спостережень використані такі дві пари предикторів: T_0 , ν_0 і ΔH_{850} , P' .

На рис.9.13 проведено ізолінії повторюваності випадків, коли параметр P перевищує 0,30.

На осях заключного графіка нанесено повторюваності підвищених значень P залежно від двох пар предикторів: $\Pi(T_0, \nu_0)$; $\Pi(\Delta H_{850}, P')$ – прогнозується вірогідність справдження параметра P більше ніж 0,30. Буває так, що доцільно проводити ізолінії повторюваності на попередніх графіках та ізолінії абсолютних величин параметра P на заключному графіку.

За такого підходу з'ясовується вплив комплексів метеорологічних характеристик, зокрема застою повітря, на забруднення атмосфери.

9.3. Використання методу розпізнавання образів

Сутність даного методу прогнозування забруднення повітря полягає у визначенні ступеня близькості конкретної ситуації (комплексу предикторів) до характерних ситуацій, наприклад, високого, підвищеного і зниженого рівнів забруднення повітря [6,13].

Усі значення інтегрального показника забруднення повітря в місті розміщуються в порядку зменшення й далі розподіляються на групи. Найдоцільніше провести поділ на три групи так, як це було зроблено в розділі 5:

- I група - $Q \geq 1.4$ ($P \geq 0.35$);
- II група – $Q \geq 0.8 - 1.3$ ($P \geq 0.21 - 0.35$);
- III група – $Q \leq 0.7$ ($P \leq 0.2$).

Якщо ряд спостережень невеликий (1-2 роки), доцільно розділити його на три приблизно рівні групи. Далі для кожної групи розрахувати середні значення предикторів X та їхній середній квадратичний відхил:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}, \quad (9.4)$$

де x_i - конкретні значення предиктора, який розглядається;

N - кількість випадків у цій групі;

$\bar{x}$ - середнє значення предиктора в групі.

Подібність ситуації конкретного дня з характерною ситуацією групи визначають за так званою "відстанню" між ними.

Зокрема, у випадку використання перетворених предикторів, відстань між даною ситуацією й ситуацією, наприклад, першої групи (ρ_1^2) визначають за такою формулою:

$$\rho_1^2 = \frac{(\chi_1 - \chi_1^-)^2}{\sigma_{\chi_1}^2} + \frac{(\chi_2 - \chi_2^-)^2}{\sigma_{\chi_2}^2} + \dots + \frac{(\chi_i - \chi_i^-)^2}{\sigma_{\chi_i}^2}, \quad (9.5)$$

де $\chi_1^-, \chi_2^-, \dots, \chi_i^-$ - середні значення предикторів у першій групі,

$\sigma_{\chi_1}, \sigma_{\chi_2}, \dots, \sigma_{\chi_i}$ - середній квадратичний відхил відповідних предикторів забруднення повітря в першій групі.

Аналогічно розраховують ρ_{II}^2 і ρ_{III}^2 – “відстань” між конкретною ситуацією цього дня і характерними ситуаціями відповідно II і III групи забруднення повітря. Прогнозують групу, для якої ρ має найбільше значення.

10. ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗАГАЛОМ ПО МІСТУ

10.1. Схема прогнозування метеорологічних умов забруднення атмосфери

Метеорологічні умови забруднення повітря (МУЗ) дозволяють оцінити готовність атмосфери до процесу накопичування або розсіювання шкідливих домішок.

Сутність синоптико-статистичної схеми прогнозування міститься у використанні комплексного показника метеорологічних умов забруднення повітря, що є сумою предикторів, визначених у балах [14]. Кожному предиктору рекомендується присвоювати бали від 3 до 10.

Значення МУЗ визначають за формулою

$$МУЗ = Ц + H_{ТД} + \bar{v}_{пер}(v_0), \quad (10.1)$$

де $Ц$ -циркуляційний фактор у вигляді типу синоптичної ситуації,

$H_{ТД}$ – товщина шару перемішування, яка обумовлена термічною та динамічною турбулентністю і характеризує вертикальне перемішування домішок,

$\bar{v}_{пер}(v_0)$ – середня швидкість вітру в шарі перемішування, а якщо його немає, v_0 - швидкість вітру біля поверхні землі.

Напрямок вітру частково враховується в циркуляційному факторі.

Ці предиктори прогнозуються (аналогічно прогнозу погоди) із завчасністю 12, 24, 36 год.

Складові частини МУЗ виражаються в балах, комплекс МУЗ змінюється від 9 до 30.

Випадки найвищого забруднення пов'язані зі слабким вітром та за наявності приземної інверсії або піднесеної інверсії, якщо нижня межа її розміщена безпосередньо над джерелом забруднення.

У табл. 10.1 наведено умовні числові характеристики $H_{ТД}$ і $\bar{v}_{пер}(v_0)$, а табл. 10.2 - числові значення типів синоптичних процесів для Києва.

Таблиця 10.1 - Числові характеристики $H_{ТД}$ та $\bar{v}_{пер}(v_0)$

Цифри коду	Стан атмосфери		
	Верхня границя або товщина шару $H_{ТД}$		Значення $\bar{v}_{пер}(v_0)$ м/с
	М	гПа	
3	300 і менше	30	0 - 3
4	400	40	4
5	500	50	5
6	600	60	6
7	700	70	7
8	800	80	8
9	900	90	9
10	1000 і більше	100 і більше	10 і більше

Примітка. Розрахунок ведеться від фактичного або прогностичного значення незведеного тиску.

Таблиця 10.2 - Числові характеристики $\mathcal{C}$ стосовно Києва (для холодного періоду року)

Цифри коду	Типи синоптичних ситуацій
3	Теплий сектор. Передня частина улоговини з умовами формування туману, Ожеледі
4	Південно-східна, південно-західна, північно-східна, північно-західна периферії антициклону
5	Центр антициклону . Південна, північна, східна, західна периферії антициклону
6	Поля підвищеного та зниженого тиску. Сідловина
7	Фронт оклюзії
8	Передня частина улоговини. Теплий фронт
9	Холодний фронт
10	Тил циклону. Вторинні холодні фронти

Найменші бали надаються тим типам синоптичних процесів, за яких відмічалася найбільша повторюваність випадків високого забруднення атмосфери. Для Києва цифрою 3 кодуються теплий сектор та передня частина улоговини з умовами формування туману, ожеледі. Слід враховувати тривалість стаціонарування того чи іншого баричного утворення або типу синоптичного процесу над пунктом чи районом прогнозу. Цифрою 10 кодуються такі синоптичні ситуації, коли забруднення атмосфери мінімальне.

Складаючи прогноз МУЗ, спочатку прогнозують кожну метеорологічну величину, потім її кодують (табл.10.1, 10.2) і визначають суму балів. Запроваджено, що метеорологічні умови високого забруднення характеризуються значеннями МУЗ 9-13 для ночі та 9-16 для дня.

Оскільки забруднення атмосфери відбувається не відразу після того, як склалися несприятливі метеорологічні умови, потрібно оцінювати можливість формування високого рівня забруднення атмосфери не тільки комплексом прогнозних МУЗ, але і їх значеннями за проміжок часу, попередньому прогнозу. Умовно заведено, що формування високого рівня забруднення повітря відбувається, коли несприятливі метеорологічні умови тривають не менше двох строків спостережень, віддалених один від одного на 12год (наприклад, у 00год МСЧ та о 12год МСЧ або в 12год МСЧ та 00год МСЧ наступної доби). Числове виявлення комплексного показника МУЗ є основою для відповідної термінології прогнозу, яка наведена в табл. 10.3.

Таблиця 10.3 - Термінологія прогнозів за комплексним показником МУЗ

Умови, за якими формулюють прогноз	Термінологія прогнозування	
	познака	розшифрування
Значення МУЗ на період прогнозу та попередні 12год і 24 год становлять: вночі — від 9 балів до 13 балів; вдень — від 9 балів до 16 балів	МУВЗ	метеорологічні умови високого забруднення
Значення МУЗ на період прогнозу та попередні 12год становлять: вночі — від 9 балів до 13 балів; вдень — від 9 балів до 16 балів	МУВЗ _{кр}	короточасні МУВЗ
Значення МУЗ на період прогнозу вночі становлять 14 балів і більше, а вдень — 17 балів і більше	МУВЗ _{н/о}	МУВЗ не очікують

10.2. Визначання типу синоптичної ситуації

Тип синоптичної ситуації (циркуляційний чинник) визначається за фактичною приземною картою або за картами майбутнього положення приземного поля тиску із завчасністю 12, 24 або 36 год.

Числові характеристики параметра „ C ” визначають з табл. 10.2. Табл. 10.2 складено для Києва як результат аналізу залежності показника фоновому забрудненню повітря (у даному випадку параметра „ P ”) в місті від типу синоптичної ситуації для холодного періоду року. Для Києва аналогічно одержано типізацію синоптичних процесів для теплого періоду року.

Для забруднених міст України (Кривий Ріг, Донецьк, Дніпропетровськ, Черкаси, Луцьк) в УкрГМЦ виконано роботу щодо уточнення числових характеристик параметра „ C ” для різних типів синоптичних ситуацій залежно від фоновому забрудненню повітря й визначено його значення для холодного та теплого періодів року. Для інших міст робота продовжується.

Слід зазначити, що структура полів забруднення атмосфери в містах із часом змінюється, тому відповідно буде виникатиме потреба уточнювати числові характеристики параметра „ C ”.

10.3. Визначання товщини шару термодинамічного перемішування

Шар перемішування ($H_{ТД}$) – такий шар атмосфери, в якому, починаючи від поверхні землі та до певної висоти, вертикальний градієнт дорівнює сухоадіабатичному або перевищує його, це шар з додатною енергією нестійкості, нижня межа якого збігається із землею поверхнею, а верхня визначається як рівень перетину кривої стану із кривою стратифікації.

Товщина шару перемішування графічно визначається з урахуванням незведеного тиску на бланку аерологічної діаграми в м або гПа, як рівень перетину кривої стану із кривою стратифікації. За нижню межу шару перемішування приймається поверхня землі і, якщо $H_{ТД}$ виражається в гПа, тиск незведений до рівня моря.

Коли розраховується $H_{ТД}$ за прогностичними кривими стратифікації в разі використання тиску з прогностичних приземних карт (тобто зведеного до рівня моря), поправку на висоту станції можна визначити приблизно виходячи з того, що зміна тиску по вертикалі на 10гПа відбувається в шарі товщиною ~ 100 м.

У тих випадках, коли на аерологічній діаграмі видно байдужу стратифікацію або коли крива стану проходить не більше як на 1° ліворуч кривої стратифікації, верхня межа шару перемішування перебуває на тій висоті, на якій ці умови порушуються.

Максимальна товщина шару перемішування на поточний день визначається за аерологічною діаграмою за ранковий строк з урахуванням очікуваної максимальної температури повітря.

Числові характеристики параметра $H_{ТД}$ (шару перемішування) визначаються з табл. 10.1.

Для прогнозу із завчасністю 24 та 36 год параметр $H_{ТД}$ визначається за даними прогностичних кривих стратифікації атмосфери. Прогностичні криві стратифікації будуються за даними прогностичних карт баричної топографії. Особливо важлива наявність прогностичної карти AT_{925} .

10.4. Синоптичний спосіб прогнозування ізобаричної поверхні 925 гПа

Коли немає прогностичної карти AT_{925} для району прогнозування, її розраховують синоптичним способом на основі зв'язку добових змін тиску біля поверхні землі (P_0) зі змінами геопотенціалу ізобаричної поверхні 925 гПа (Hq) (рис.10.1)

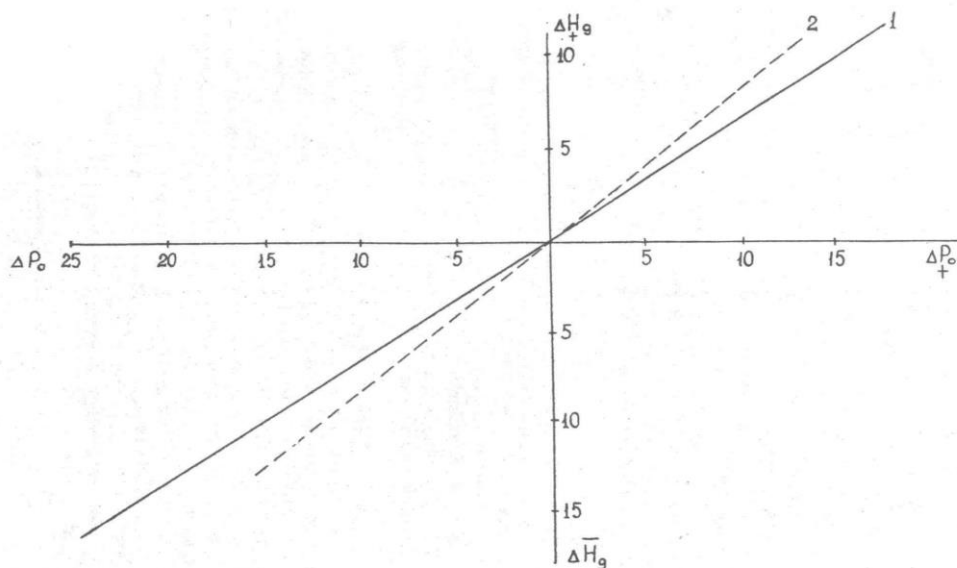


Рисунок 10.1 – Зв'язок між ΔP_0 і ΔH_0 (1 – холодний період, 2 – теплий період)

За очікуваною зміною P_0 визначають ΔHq , потім до отриманої величини додають, урахувавши знак, Hq , взяте з вихідної карти AT_{925} . Розраховану таким чином прогностичну карту використовують для визначення початкових точок траєкторій під час прогнозування температури на цьому рівні й дефіциту вологості, а також для прогнозування вітру [15].

10.5. Прогнозування температури та дефіциту насичення на рівні 925 гПа

Прогноз температури на рівні T_{925} та вологості $(T-Td)_{925}$ складають, урахувавши при цьому адвективні зміни, зміни в результаті упорядкованих вертикальних рухів, трансформаційні зміни та зміни, зумовлені добовим ходом (для прогнозу із завчасністю 12 і 36 год).

Щоб врахувати трансформаційні зміни (ΔT_{mp}), побудовано емпіричні графіки для рівня $AT_{925} \text{ гПа}$ (рис.10.2 – 10.5). Ці графіки можуть бути використані в помірних широтах.

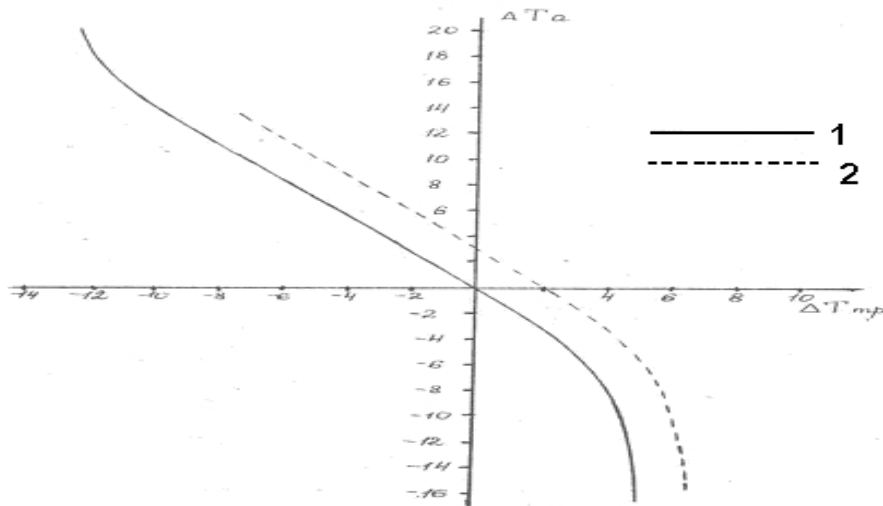


Рисунок 10.2 – Графіки для визначення трансформаційних змін температури повітря на рівні 925 гПа за добу. Весна (1 – хмарно; 2 – малохмарно)

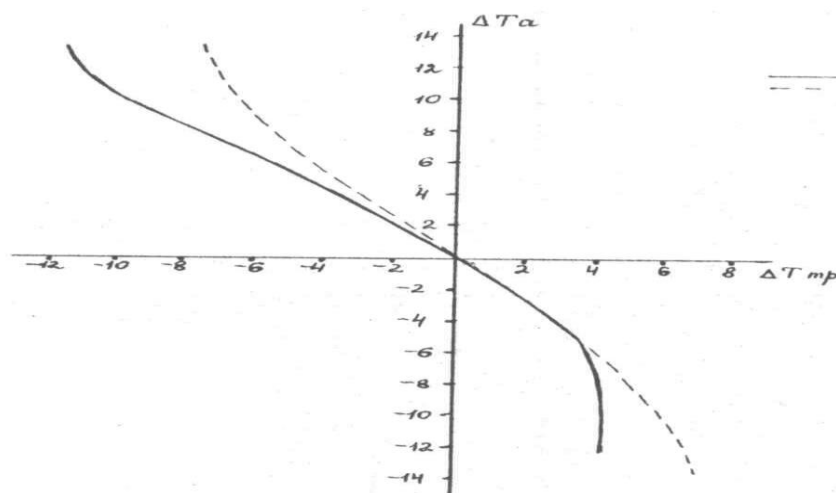


Рисунок 10.3 – Графік для визначення трансформаційних змін температури повітря на рівні 925 гПа за добу. Літо (1 – хмарно; 2 – малохмарно)

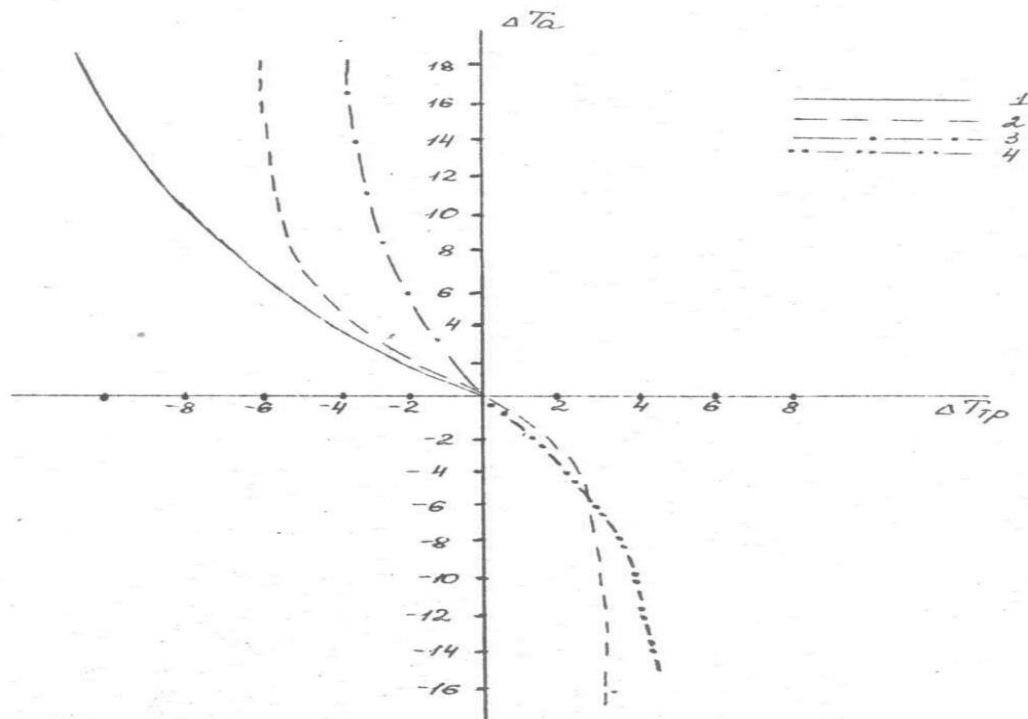


Рисунок 10.5 – Графік для визначення трансформаційних змін температури повітря на рівні 925 гПа за добу. Зима. Хмарно: 1 – Пд., ПдС, ПдЗ; 2 – Пн, ПнС, ПнЗ, З, С (незалежно від хмарності). Малохмарно: 3 – Пд., ПдС, ПдЗ; 4 – Пд., ПдС, ПдЗ (незалежно від хмарності)

Прогнози температури та дефіциту вологості на ізобаричній поверхні 925гПа за наявності графіків трансформаційних змін бувають такі:

Для поточного дня (завчасність 12год). На основі вихідної карти AT_{925} , за даними строку спостереження 03год, звичайним способом будують траєкторію і визначають початковий район, з якого повітряна маса переміститься до 15год у район прогнозу, тобто визначають початкову точку траєкторії. У початковій точці траєкторії з карти AT_{925} за строк 03год поточної доби знімають адвективне значення температури ($T_{ан}$) і обчислюють величину адвекції ΔT_a для пункту прогнозу:

$$\Delta T_a = T_k - T_{ан}, \quad (10.2)$$

де T_k - вихідна температура в кінцевій точці (пункт прогнозу).

Якщо ΔT_a дорівнює або менша за 2°C , температура, що прогнозується, дорівнюватиме її адвективному значенню, але враховуючи добовий хід (влітку за малохмарної погоди амплітуда може сягати до 3°C , якщо ж небо захмарене – взагалі її немає).

Якщо ΔT_a перевищує 2°C , очікувана температура в пункті прогнозу буде складатися із адвективної температури в початковій точці траєкторії, яка отримана з карти AT_{925} за строк 15год минулої доби і трансформаційної поправки, отриманої з добових

трансформаційних графіків (ΔT_a визначають, враховуючи температуру (T) за строк 15год попереднього дня).

Прогностичне значення дефіциту насичення в пункті прогнозу дорівнюватиме його адвективному значенню;

Для ночі наступної доби (завчасність 24год). Щоб визначити район, з якого буде переміщуватися повітряна маса до пункту прогнозу, будують траєкторію звичайним способом: перший 12-годинний проміжок часу відкладають проти потоку на прогностичній карті AT_{925} за строк 03год наступної доби, другий – на вихідній карті AT_{925} за строк 03год поточної доби, враховуючи фактичну швидкість вітру. З отриманої початкової точки траєкторії, з вихідної карти AT_{925} беремо значення T і обчислюємо ΔT_a аналогічно до наведеному вище.

Якщо ΔT_a дорівнює або менша за 2°C , температура, що прогнозується, буде дорівнюватиме її адвективному значенню:

$$TK_{24} = T_{aH}, \quad (10.3)$$

Якщо ΔT_a перевищує 2°C , за поданими для кожного сезону графіками, залежно від напрямку переносу й хмарності, визначають значення трансформаційного охолодження або нагрівання (ΔT_{mp}). Очікувану температуру T_k в пункті прогнозу визначають так:

$$TK_{24} = T_{aH} \pm \Delta T_{mp}. \quad (10.4)$$

Значення прогнозованого дефіциту насичення дорівнює його адвективному значенню.

Для дня наступної доби (завчасність 36 год): Залежно від напрямку переносу за 24 год екстраполюють поле H_{925} на наступні 12год. При цьому враховують тенденцію зміни баричного поля від вихідного строку спостереження 03год поточної доби до 03год наступної доби; графічно ділянка екстрапольованого поля подається на прогностичній карті AT_{925} , яка розрахована для ночі наступної доби. Потім визначають початкову точку траєкторії, яку будують трьома відрізками:

- перший 6-годинний відрізок відкладають проти потоку вздовж ізогіпси екстрапольованого поля H_{925} на 36год вперед;
- другий 18-годинний відрізок — аналогічно першому за прогностичним полем на 24год уперед;
- третій 12-годинний відрізок — аналогічно до першого і другого за вихідною картою AT_{925} та за даними строку спостережень 03 год. Якщо немає даних, щоб побудувати ділянку на карті AT_{925} із завчасністю 36год, тоді за прогностичним полем із завчасністю 24год будують 24-годинну ділянку траєкторії; а 12-годинну – за даними вихідної карти AT_{925} .

Щоб не враховувати добовий хід температури за фактичною картою АТ₉₂₅ за строк спостереження 15год попередньої доби, будують ще один відрізок 12-годинної траєкторії, у кінцевій точці якої знімають T_a . Отже, прогноз на 36год ніби ототожнюється з прогнозом на 48год.

За умови, що ΔT_a більша ніж 2°C , визначають ΔT_{tr} за наведеними графіками.

Якщо ΔT_a менша або дорівнює 2°C , поправку на трансформаційні зміни не вводять і прогностичне значення T_{925} дорівнюватиме її адвективному значенню в початковій точці траєкторії з урахуванням добового ходу.

Коли немає трансформаційних графіків для рівня 925гПа, прогноз температури і дефіциту насичення на ізобаричній поверхні 925гПа складають на основі детальної побудови траєкторії (з кроком 6год) і подальшим зніманням уздовж неї температури або дефіциту насичення та їхнім усередненням. За такого підходу трансформаційні зміни враховують автоматично.

Усереднення температури $T(^{\circ}\text{C})$ і дефіциту насичення $T - T_d$ вздовж прогностичних траєкторій на рівні 925гПа (рис.10.6) слід розраховувати за такими формулами:

$$T_{92512} = \frac{T_c + T_B + T_A}{3}, \quad (10.5)$$

$$(T - T_d)_{92512} = \frac{(T - T_d)_c + (T - T_d)_B + (T - T_d)_A}{3}, \quad (10.6)$$

$$T_{92524} = \frac{T'_E + T'_D + T'_C + T'_B + T_A}{5}, \quad (10.7)$$

аналогічно для $(T - T_d)_{92524}$.

$$T_{92536} = \frac{T''_k + T''_F + T''_E + T''_D + T''_C + T''_B + T_A}{7}, \quad (10.8)$$

аналогічно для $(T - T_d)_{92536}$.

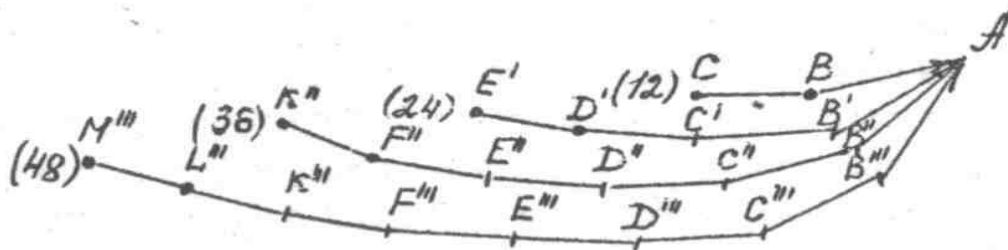


Рисунок 10.6 – Прогностична траєкторія на 12, 24 і 36год А – кінцева точка траєкторії (пункт прогнозу); АВ, ВС....F'', К'' - шести часові відрізки траєкторій

Уточнюючи температуру за допомогою упорядкованих вертикальних рухів повітря (τ), беруть τ_{925} , яка приблизно становить $0,5 \tau_{850}$.

У практичній роботі для уточнення температури (T) на рівні 925гПа за допомогою упорядкованих вертикальних рухів повітря рекомендується: для висхідних τ піднімання повітряної частки з ізобаричної поверхні 925гПа обмежувати незалежно від величини упорядкованих швидкостей висотою рівня конденсації із цієї поверхні (аналогічно до ізобаричної поверхні 850гПа); для низхідних τ поправку до температури не вводять.

За наявності “розриву” швидкості вітру в шарі земля – 850гПа, тобто значної зміни швидкості вітру (Δv) в цьому шарі, проводиться уточнення прогнозу температури. Згідно з прогнозом швидкості вітру біля поверхні землі і на рівнях 925 та 850гПа визначається, в якому шарі (Δh) очікується “розрив” швидкості вітру та прогнозується, на яку величину знизиться температура повітря на верхній границі шару “розриву” у зв’язку з динамічною турбулентністю. Для цього обчислюють вертикальний градієнт швидкості вітру ($\frac{\Delta v}{\Delta h}$ м/с на 100 м) в цьому шарі. За номограмою на рис. 10.7 визначають термічний еквівалент градієнта вітру (γ_d). Похилі лінії на номограмі означають лінії рівних значень $\frac{\Delta v}{\Delta h}$, а за віссю ординат відкладена температура (T) на верхній границі шару “розриву”. Величина охолодження визначається як $\Delta T = - (\gamma_d * \Delta h)$. Значення ΔT використовується для уточнення прогностичної кривої стратифікації, тобто на ній відображається відрізок “термодинамічної кривої”.

Чим більша Δv і менший Δh , тим швидше охолоджується повітря внаслідок динамічної турбулентності. Також охолодження часто приводить до появи припіднятих інверсій, які стають найнебезпечніші, якщо розміщуються над джерелами викидів шкідливих домішок.

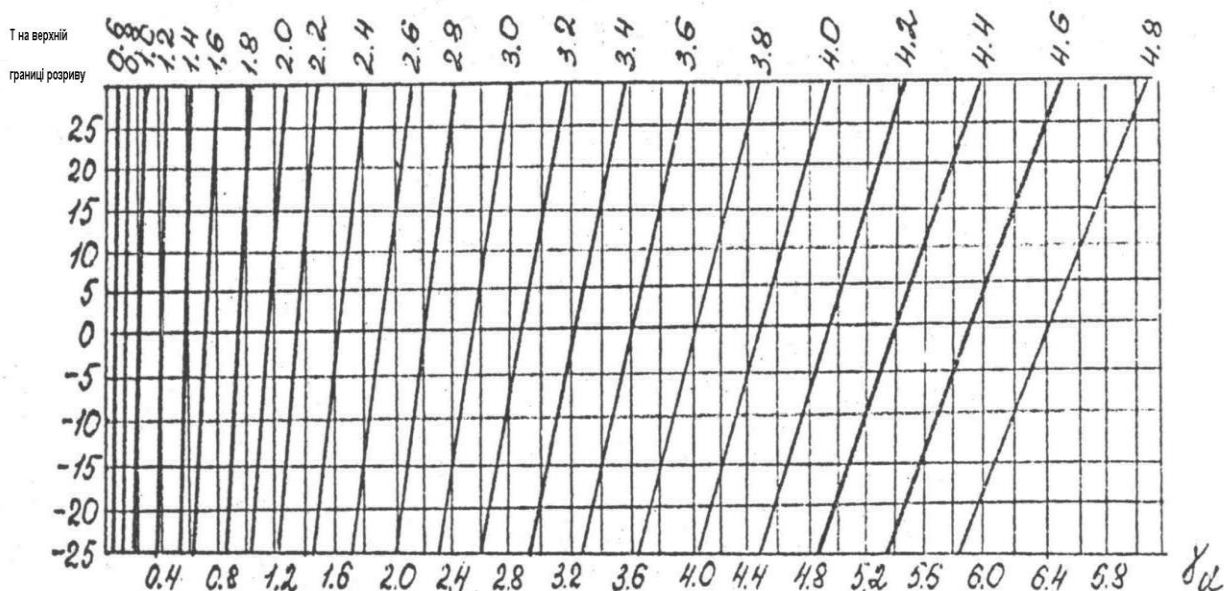


Рисунок 10.7 – Номограма для визначення γd – термодинамічного еквівалента вертикального градієнта вектора вітру

10.6. Прогнозування вітру на ізобаричній поверхні 925 гПа та біля поверхні землі

На поверхні 925гПа швидкість вітру для пункту прогнозування знімають за прогностичними градієнтами геопотенціалу, а напрям визначають за напрямом ізогіпс. Проте для карти $AT_{925\text{гПа}}$ часто використовують тільки градієнти геопотенціалу під час прогнозування швидкості вітру, що є недостатнім. Слід звернути особливу увагу на район, що прилягає до початкової точки траєкторії, звідки переміщується повітряна маса. Якщо в цьому районі спостерігається сильний вітер (мезоструя), тоді область такого вітру або передня її частина переміщується зі швидкістю 0,5 геострофічного вітру. Саме так розраховують можливий термін початку посилення вітру в пункті прогнозу, якщо область сильного вітру охоплює цей пункт.

Прогностичне значення швидкості вітру біля поверхні землі беруть з прогнозів погоди загального користування, а також і спеціалізованих прогнозів слабого вітру [15].

10.7. Визначення середньої швидкості вітру в шарі термодинамічного перемішування

Середню швидкість вітру в шарі термодинамічного перемішування ($\bar{v}$) розраховують на основі даних про фактичний розподіл вітру в цьому шарі або на основі прогнозів вітру різної завчасності біля поверхні землі і на рівнях 925гПа і 850гПа.

Якщо на прогностичних кривих стратифікації верхня межа шару термодинамічного перемішування ($H_{ТД}$) близька до ізобаричної поверхні 850 гПа, середню швидкість вітру ($\bar{v}$) розраховують за такою формулою:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_{925} + v_{850}}{3}, \quad (10.9)$$

якщо вона близька до рівня 925гПа, вона матиме такий вигляд:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_{925}}{2}. \quad (10.10)$$

Якщо $H_{ТД}$ дорівнює 0 (товщина від поверхні землі до висоти 30 гПа), ураховують тільки прогностичне значення швидкості вітру біля поверхні землі (v_0).

Якщо верхня межа $H_{ТД}$ перебуває між ізобаричними поверхнями 850 гПа і 925 гПа або 925 гПа і поверхнею землі, швидкість вітру на верхній межі шару визначають за допомогою лінійної інтерполяції між швидкостями вітру на вказаних рівнях [15].

11. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ**11.1. Складання оперативного прогнозу забруднення повітря від окремих джерел**

Для складання оперативного прогнозу забруднення повітря перш за все потрібно організувати прогнозування забруднення повітря від потужних джерел викидів — великих промислових, енергетичних та паливних об'єктів. За характеристиками викидів розраховують максимальні концентрації шкідливих домішок у нормальних умовах (C_m), аналізують дані підфакельних спостережень та дані стаціонарних пунктів (у випадках, коли напрям вітру зі сторони джерела на пункт відбирання проб).

На основі аналізу розрахованих і виміряних концентрацій роблять висновок щодо вкладу кожного джерела в загальне фонове забруднення повітря в місті; організовують служби попередження щодо несприятливих умов, починаючи з об'єктів, які якнайбільше забруднюють приземний шар повітря. Такі служби організовують насамперед на підприємствах, що розміщені на околиці чи за межею міста, тому що для них складати прогноз небезпечних умов забруднення простіше. В місті з населенням близько 500 тис. доцільно складати прогноз забруднення повітря в районі впливу 10–15 об'єктів. Підприємствам, для яких розрахункові максимальні концентрації домішок (C_m) у три і більше разів нижчі за ГДК, складати попередження не слід, тому що забруднення повітря, що створюється викидами, практично не перевищує норму.

Основною формою обслуговування є складання прогнозу метеорологічних умов, що сприяють формуванню високого забруднення повітря і передавання оповіщення промисловим підприємствам, райдержадміністрації та СЕС щодо часу фактичного настання МУЗ. Підприємствам сповіщають (за потреби) дані фактичного (чотири рази на добу) і прогностичного (двічі на добу) напрямку й швидкості вітру.

Після передання прогнозу очікуваного небезпечного забруднення повітря шкідливими домішками, слід ужити таких заходів:

а) встановити контроль за метеорологічними й аерологічними характеристиками, що визначають небезпечну ситуацію;

б) проводити частіші вимірювання концентрацій основних домішок.

Частіші спостереження за концентраціями припиняють після закінчення небезпечної метеорологічної ситуації.

Для здійснення контролю за метеорологічними та аерологічними характеристиками, що визначають небезпечну ситуацію, у прогностичний підрозділ Держгідромету (за його заявкою) повинна надходити з ближньої метеостанції, телевежі, пункту кулепілотних спостережень чи пункту радіозондування детальна інформація про швидкість і напрям вітру біля поверхні землі й у нижньому шарі атмосфери (верхня межа якого перебуває на рівні від 300 м до 500 м), а також про вертикальний розподіл температури в зазначеному шарі.

Примітка. Кулепілотні спостереження та дані радіозондування нижнього кілометрового шару слід проводити не частіше, ніж кожні три години.

За даними аерологічних спостережень простежують зміну швидкості вітру, визначають верхню межу штильової зони, роблять висновок щодо характеру зміни швидкості вітру й наявності інверсії та її розміщення відносно висоти джерела. Контроль за метеорологічними умовами повинен тривати до зникнення небезпечної ситуації.

11.2. Складання оперативного прогнозу забруднення повітря загалом по місту

Під час щоденного оперативного прогнозування використовують розроблену для даного міста прогностичну схему; прогностичні правила, що містять характеристику комплексів предикторів і синоптичні ситуації та якісні правила, що вказують на можливі зміни рівня концентрацій.

Прогноз складають за прийнятною для конкретного міста прогностичною схемою. Так, для Дніпропетровська, Донецька, Запоріжжя, Києва, Кривого Рогу, Луганська, Маріуполя, Одеси, Харкова та Черкас розроблено прогностичні схеми короткострокового прогнозування забруднення повітря за методом множинної регресії. Для інших міст використовують схему прогнозування метеорологічних умов забруднення повітря. Якщо справджуваність (за спостереженнями в конкретному місті) перевищує справджуваність прогнозів певної групи забруднення повітря за схемою (у випадку формування відповідного комплексу предикторів), прогноз складають за основним правилом незалежно від указаної схеми.

Повідомлення споживачам надається тільки в разі прогнозування високого забруднення повітря (прогноз першої групи) для вживання заходів щодо зниження викидів у місті.

Після складання прогнозу високого забруднення повітря по місту в цілому проводять заходи, визначені в розділі 12.

Важливою умовою успішного прогнозування забруднення повітря в місті є своєчасне надходження до прогнозіста потрібних оперативних даних, а саме:

- щоденної оперативної інформації для розраховування узагальненої характеристики забруднення повітря загалом по місту і оцінювання умов, що склалися в місті;
- результатів додаткових вимірювань концентрацій домішок у повітрі, проведених у період дії попереджень щодо зростання забруднення.

Тому створено певні вимоги до підрозділів, які аналізують проби повітря [14, 15, 17].

12. СКЛАДАННЯ ПОПЕРЕДЖЕНЬ У РАЗІ НЕБЕЗПЕЧНИХ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Щодо можливого формування небезпечного рівня забруднення повітря від окремих джерел і загалом по місту складають попередження двох видів: від окремих джерел та загалом по місту. Як правило, попередження складають одночасно з основним або уточнювальним прогнозом. Вони можуть бути складені у будь-яку частину доби залежно від ступеня виникнення небезпеки значного забруднення повітря. Завчасність попередження не перевищує 36 год. Попередження передає підрозділ Держгідромету керівним органам міста, підприємствам, які є джерелами забруднення приземного шару повітря, а також організаціям, що здійснюють контроль (підрозділам Мінприроди, СЕС, ДАІ тощо).

Основою для передавання попередження споживачам є очікувані несприятливі метеорологічні умови (НМУ), метеорологічні умови високого забруднення (МУВЗ), за яких можуть виникнути відносно високі рівні забруднення повітря зокрема, ті що перевищують ГДК концентрації. Попередження складають, ураховуючи можливі три ступені небезпеки, яким повинні відповідати певні режими робіт промислових підприємств.

12.1. Складання попередження для окремих джерел викидів

Попередження щодо небезпечного рівня забруднення повітря для окремих джерел викидів складають, коли очікуються НМУ, за яких максимальні концентрації домішок у повітрі, що утворюються від джерел або групи джерел викидів, можуть перевищувати розрахункове значення (C_m).

Попередження складають незалежно від того, як розміщене джерело: ізольовано чи в групі інших джерел. Під час складання попереджень на основі розрахунків передбачають і враховують тільки ті концентрації, що утворюються підприємствами, які обслуговуються.

Попередження першого ступеня небезпеки надають, коли передбачається один з несприятливих комплексів метеорологічних умов, наведених у підрозділі 8.2.1, а другого ступеня небезпеки — якщо передбачається одночасний наступ двох несприятливих комплексів метеоумов (наприклад, припідняті інверсії в поєднанні з несприятливим напрямом та небезпечною швидкістю вітру U_m). Такі попередження складають тільки в містах, де значення максимально виміряної концентрації q_m перевищує 3 ГДК. Якщо ж q_m більше від ГДК, але менше або дорівнює 3 ГДК, за вказаними умовами складають попередження першого ступеня небезпеки.

Попередження третього ступеня небезпеки складають у випадках, коли після передання другого ступеня небезпеки інформація вказує на те, що за умови збереження метеорологічних умов, заходи, що були вжиті, не забезпечують потрібної чистоти атмосфери. Такі попередження складають тільки у випадках, коли хоч одна з домішок q_m перевищує 5 ГДК.

Якщо підприємство, що обслуговується, розміщене в місті, де не проводять заміри концентрацій домішок у повітрі, попередження третього ступеня небезпеки не складають [17].

12.2. Складання попередження по місту

Прогнозування МУЗ та рівнів забруднення повітря проводять з метою регулювання викидів шкідливих домішок, коли метеорологічні умови сприяють їхньому накопиченню.

Прогнозування МУЗ здійснюється згідно з „Руководством по краткосрочным прогнозам погоды”, ч.І (Л.: Гидрометеоиздат, 1986) спеціалістами групи метеорологічних прогнозів Держгідромету.

Прогнози рівнів забруднення повітря складають за методиками УкрНДГМІ. Розрахунки прогнозів рівнів забруднення повітря виконують спеціалісти КПСЗПС за даними фактичних концентрацій домішок та прогностичних метеорологічних величин, які готують спеціалісти групи метеорологічних прогнозів Держгідромету.

Прогнози МУВЗ передають у КПЗПС, яка складає штормове попередження з урахуванням фактичних концентрацій домішок (вони мають перевищувати ГДК однієї або кількох домішок). У цьому випадку до споживачів державних установ та підприємств, що забруднюють повітряний басейн міста, надсилають штормове попередження першого ступеня.

У випадку зі зміною максимально разових гранично допустимих концентрацій (зокрема, діоксид азоту) попередження складають за перевищеними середніми добовими ГДК (10% повторюваність таких підвищених ГДК).

У разі, коли високий рівень забруднення повітря по місту не був зпрогнозований, а має місце високе забруднення, складають і передають оповіщення про фактичні умови та прогноз на найближчі 24 год.

За наявності в оперативно–виробничій організації Державної гідрометеорологічної служби методики прогнозування рівнів забруднення повітря, штормове попередження потрібно складати за даними прогнозованих рівнів. У цьому випадку складають штормове попередження трьох ступенів.

Попередження першого ступеня складають у разі очікування групи відносно високого забруднення повітря з будь–якої окремої домішки або сукупності домішок, і одночасно фактичні концентрації однієї або кількох домішок мають бути більше за ГДК. Якщо концентрації, що перевищують ГДК, спостерігаються часто, фактичний рівень концентрацій необхідно визначати в кожному конкретному місті за останні роки (10% повторюваність таких підвищених ГДК). Для міст Дніпродзержинськ, Донецьк, Запоріжжя, Кривий Ріг, Маріуполь, Рівне фактичні концентрації однієї або кількох домішок мають бути більше 3 ГДК.

Попередження другого ступеня передають у двох випадках:

а) якщо очікується група аномально високого забруднення повітря (2% найбільших значень), для кожного міста вона розраховується окремо. Наприклад, значення Q дорівнює або перевищує 1,8 (Дніпропетровськ, Київ, Одеса, Черкаси) і одночасно фактичні концентрації однієї або кількох домішок перевищують 3 ГДК, а для міст Дніпродзержинськ, Донецьк, Запоріжжя, Кривий Ріг, Луганськ, Маріуполь, Рівне значення Q дорівнює або перевищує 2,0, а фактичні концентрації однієї або кількох домішок перевищують 5 ГДК;

б) якщо після передання попередження першого ступеня наступні фактичні дані вказують на те, що концентрація домішок не зменшується.

Попередження третього ступеня складають і передають у випадках, коли після передавання попередження другого ступеня утримується високий рівень забруднення, очікується збереження МУВЗ і концентрація в повітрі однієї або кількох домішок перевищує 5 ГДК.

13. ТЕРМІНОЛОГІЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ СПРАВДЖУВАНOSTІ ПРОГНОЗІВ ТА ПОПЕРЕДЖЕНЬ ПРО ВИСОКИЙ РІВЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

13.1. Термінологія та оцінювання справджуваності прогнозів і попереджень про високий рівень забруднення повітря щодо окремих джерел

Якщо несприятливі метеорологічні умови не очікуються, прогноз записують так: *Високе забруднення повітря від окремих джерел не очікується*. Такий прогноз записують у журнал і споживачу не передають. Якщо за прогнозом очікують несприятливі метеоумови для виділеної групи джерел чи для окремих (кількох обслуговуваних) підприємств, у журнал записують очікуваний комплекс параметрів. Запис у журналі матиме такий вигляд: *25 січня буде північно–східний вітер від $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до $8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, нижня межа підвищеної інверсії від 200 м до 400 м. Метеоумови несприятливі для I групи джерел*. Далі йде текст попередження, який передають споживачеві.

Для попередження великої кількості обслуговуваних підприємств, з дозволу органів влади, краще використовувати мережу місцевого радіомовлення.

Якщо попередження передають безпосередньо на підприємства, що мають велику кількість джерел викидів, тоді сповіщають і записують у журнал такий текст: *З ____ години за місцевим часом (дата) джерело ____ групи працює за режимом три (два, один)*. Якщо обслуговуване підприємство вважають за одне джерело, тоді сповіщають так: *З ____ години за місцевим часом (дата) режим роботи три (два, один)*.

Справджуваність прогнозів забруднення повітря від окремих джерел оцінюють за двома градаціями: виправдався і не виправдався. Під час оцінювання метеорологічних умов високого забруднення повітря, потрібно оцінити справджуваність прогнозу кожного елемента окремо. Прогноз напрямку і швидкості вітру, туманів оцінюють за КД 52.4301–03 “Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди”. / Державна гідрометеорологічна служба. Київ - 2003 [10] та “Методическими рекомендациями по составлению и оценке специализированных прогнозов слабого ветра и предупреждению об опасном слабом ветре”, які було введено в дію Держкомгідрометом у 1983 році. Прогноз висоти шару перемішування або висоти нижньої межі підвищеної інверсії вважають таким, що виправдався, якщо фактична висота відмічається від очікуваної не більш ніж на 200м. Якщо мали місце відповідні градації не менше ніж з двох метеорологічних характеристик очікуваного комплексу, прогноз в цілому вважають таким, що виправдався. Винятком є випадки, коли на об’єкт, розміщений за межею або на краю міста, не впливає очікуваний напрям вітру, тоді прогноз вважають таким, що не виправдався незалежно від здійснення інших умов. Прогноз високого забруднення повітря отримує оцінку „виправдався”, коли відхил настання несприятливих метеоумов у часі не перевищив допустимої межі. Настання явища в очікуваний строк оцінюють за КД 52.4301–03 “Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди”. /Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2003 [10].

13.2. Термінологія та оцінювання справджуваності прогнозів МУЗ та прогнозів забруднення повітря і попереджень щодо високого рівня забруднення повітря загалом по місту.

Метеорологічні умови забруднення повітря можуть бути виражені в балах за комплексними показниками предикторів, що розглядаються, або у відсотках повторюваності високих значень параметрів P , Q (чи інших узагальнених по місту характеристиках забруднення) за певних сполучень різних метеорологічних величин.

Оцінка прогнозів МУЗ визначається за діагностичними, аеросиноптичними даними. Розраховується комплексний показник МУЗ, визначаються фактичні метеорологічні умови забруднення повітря ($МУВЗ$, $МУВЗ_{кр}$, $МУВЗ_{н/б}$) і порівнюються з прогностичними метеорологічними умовами забруднення.

Для оцінки прогнозів МУЗ використовуються три градації справджуваності: 100, 50 та 0% (табл. 13.1).

Попереджуваність випадків метеоумов високого забруднення ($МУВЗ$) розраховується також за табл. 13.1, але з урахуванням фактичних випадків $МУВЗ$, що спостерігались.

Таблиця 13.1 Попереджуваність випадків метеоумов високого забруднення

№№ ч/ч	Термінологія прогнозу	Справджуваність (%) прогнозів МУЗ		
		100%	50%	0%
1	Очікуються метеоумови високого забруднення	$МУВЗ$	$МУВЗ_{кр}$	$МУВЗ_{н/б}$
2	Очікуються метеоумови накопичення шкідливих домішок (короткочасні $МУВЗ$)	$МУВЗ_{кр}$	$МУВЗ$	$МУВЗ_{н/б}$
3	Метеоумови високого забруднення не очікуються	$МУВЗ_{н/б}$	$МУВЗ_{кр}$	$МУВЗ$

Примітка: $МУВЗ_{н/б}$ -- $МУВЗ$ не було

Умови, за яким подають те або інше повідомлення щодо прогнозування за комплексним показником МУЗ у Києві наведено в підрозділі 10.1.

Прогнозується одна з трьох груп забруднення (табл. 13.2) та рідкісні випадки аномально високого рівня забруднення повітря. За очікуваної групи високого рівня забруднення (аномально високого) і прогнозуванні $МУВЗ$ при цьому, дають таке шторм/попередження: *У зв'язку з очікуваними несприятливими метеорологічними умовами (дата), в місті можливо зростання забруднення повітря домішками (вказати якими).*

Примітка: Отримані з хімічної лабораторії дані дозволять указати конкретну домішку.

Якщо несприятливі метеорологічні умови вже настали і є перевищення ГДК, дають таке попередження: *У зв'язку з настанням несприятливих метеорологічних умов у місті є перевищення ГДК_{м.р.} (вказати за якими домішками). Можливе зростання забруднення протягом (вказати дату/дати) за умови зберігання $МУВЗ$.*

Крім максимальних разових ГДК критерієм для подання шторм/попередження може бути перевищення середніх добових ГДК. Критерії для встановлення високого ступеня НМУ та забруднення повітря, що вимагають реагування (шторм/попередження, сповіщення/повідомлення для поодиноких джерел), такі:

- утримування НМУ протягом 24 годин і більше;
- перевищення середньої добової ГДК у п'ять і більше разів на одній третині й більше постів (незалежно від місця їхнього розташування).

Оцінювання справджуваності прогнозів у відповідності за групами забруднення повітря виконують за табл.13.2.

Таблиця 13.2 – Оцінювання справджуваності прогнозів забруднення повітря в місті.

Група забруднення	Градації показників		Градації показників, за яких прогноз вважають таким, що виправдався	
	<i>Q</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>P</i>
I	$\geq 1,4$	$> 0,35$	$\geq 1,2$	$\geq 0,30$
II	0,8–1,3	0,21–0,35	0,6–1,5	0,17–0,38
III	$\leq 0,7$	$\leq 0,2$	$\leq 0,9$	$\leq 0,25$

Прогноз вважають таким, що виправдався чи не виправдався залежно від того, ввійдуть чи не ввійдуть прогностичні показники забруднення у градації, зазначені в табл. 13.2. При цьому встановлена величина припуску, у межах якого прогноз вважають таким, що виправдався. На першому етапі кожний прогноз оцінюють за цими градаціями (так чи ні), після чого потрібно обчислити справджуваність прогнозу за групами і загальну справджуваність, яка являє собою відношення кількості прогнозів, що виправдалися, до кількості всіх прогнозів. Для практики найважливішими показниками є загальна справджуваність прогнозів і справджуваність прогнозів групи високого забруднення.

Якщо надавалось штормове попередження щодо високого рівня забруднення повітря і відмічалось його зниження, оцінюється справджуваність метеорологічних умов, які зумовлюють високий рівень забруднення повітря. Також при прогнозі та його оцінюванні слід враховувати випадання опадів у вигляді дощу та снігу, які не сприяють високому рівню забруднення повітря.

Для одержання більш повної характеристики успішності методу прогнозування використовують критерій надійності Н.А.Багрова, який являє собою:

$$H^* = \frac{U - U_0}{1 - U_0}, \quad (13.1)$$

де U – справджуваність прогнозів;

U_0 – справджуваність випадкових прогнозів, яку розраховують за такою формулою:

$$U_0 = \varphi_1 \pi_1 + \varphi_2 \pi_2 + \varphi_3 \pi_3, \quad (13.2)$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – повторюваність фактичних спостережень кожної групи забруднення з урахуванням припусків;

π_1, π_2, π_3 – частота прогнозів кожної групи.

Сума частот прогнозів (значення π) повинна дорівнювати 1, а сума частот фактичних спостережень завжди перевищує 1 за рахунок перекриття градацій з припусками. Критерій надійності (H^*) для ефективних прогнозів не повинен бути меншим за 0,2.

Критерій надійності може бути розрахований для всієї сукупності даних і для кожної групи високого забруднення.

Приклад

Методика короткострокового прогнозування щодо забруднення повітря в м. Одеса проходила випробування за трьома інгредієнтами (пил, діоксид азоту, фенол) у ГМЦ ЧАМ, а оцінювання результатів випробування — у секторі прогнозів забруднення повітря відділу метеорологічних прогнозів УкрГМЦ.

Отримані дані щодо справджуваності прогнозів наведено в табл.13.3.

Таблиця 13.3– Справджуваність короткострокових прогнозів забруднення повітря в м. Одеса

Домішка	Період	$I_{\text{заг}}$ (%)	I_I (%)	I_{II} (%)	I_{III} (%)	$H^*_{\text{заг}}$ (%)	H^*_I
Пил	літній	88	100	92	74	0,50	1,0
	зимовий	100	100	100	100	1,0	1,0
Діоксид азоту	літній	100	100	100	100	1,0	1,0
	зимовий	100	100	100	100	1,0	1,0
Фенол	літній	97	67	100	100	0,75	0,7
	зимовий	100	100	100	100	1,0	1,0

Аналізуючи табл.13.3, можна зробити такі висновки:

а) загальна справджуваність прогнозів забруднення повітря ($I_{\text{заг}}$) домішками має такі результати: від 88 % щодо пилу (літній період) до 100 % щодо всіх домішок (зимовий період).

б) справджуваність прогнозів високого класу (I_I) має такі результати: від 67 % щодо фенолу до 100 % щодо діоксиду азоту та пилу в зимовий і літній періоди;

в) Критерій Багрова ($H^*_{\text{заг}}$) змінюється від 0,5 до 1,0, а для високого класу (H^*_I) — від 0,7 до 1,0.

14. РЕГУЛЮВАННЯ ВИКИДІВ ЗА НЕСПРИЯТЛИВИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ

14.1. Основні принципи розроблення заходів щодо регулювання викидів

Регулювання викидів в атмосферу — це тимчасове скорочення їх під час НМУ, коли формується високий рівень забруднення повітря [17].

Регулювання викидів здійснюється на основі попередження про можливе небезпечне зростання концентрацій домішок у повітрі з метою його запобігання.

Заходи щодо регулювання шкідливих викидів в атмосферу розроблюють за участю галузевих НДІ на підприємствах, які мають джерела викидів в атмосферу. Це регулювання, як правило, полягає в розробленні норм ГДВ спільно з головними галузевими організаціями.

Заходи щодо тимчасового скорочення викидів забруднювальних речовин у періоди НМУ є складовою частиною зведеного тому ГДВ “Охорона атмосфери і гранично допустимих викидів (ГДВ).” Ці норми підлягають перегляду не частіше одного разу на 5 років, а також у випадках змінення технології виробництва і викидів шкідливих домішок в атмосферу.

В містах, де зведені томи “Охорона атмосфери і гранично допустимих викидів (ГДВ)” зараз не складають або де роботи з встановлення ГДВ заплановані на окремий період, заходи щодо тимчасового скорочення викидів розроблюють самостійно, узгодивши їх з місцевими підрозділами Мінекології, МНС та Держгідромету.

Розроблюючи заходи з регулювання викидів слід враховувати внесок різних джерел у створення приземних концентрацій домішок. У кожному конкретному випадку визначають, на яких джерелах необхідно скоротити викиди насамперед, щоб отримати найбільший ефект. Із цією метою використовують формулу (8.19) для розраховування максимальної концентрації домішок у повітрі (C_m). З неї видно, що C_m значно збільшується зі зменшенням висоти труби (H) і зменшенням перегріву (ΔT). Отже, у періоди НМУ за інших рівних умов потрібно, насамперед, скорочувати низькі й холодні викиди.

Заходи з короткострокового скорочення викидів під час НМУ повинні враховувати специфіку конкретних виробництв, бути ефективними і такими, що практично виконуються. У зв'язку із цим їх слід розробляти безпосередньо на підприємствах і в галузевих інститутах.

Здійснення розроблених заходів можливо і без скорочення виробництва. Дотримання вказаних рекомендацій сприяє практичному здійсненню заходів з регулювання викидів і запобіганню росту концентрацій під час НМУ.

14.2. Визначання необхідного зниження рівня забруднення повітря і скорочення викидів під час НМУ

Щоб визначити необхідне скорочення кількості викидів під час НМУ, слід виходити з прогностичних характеристик забруднення повітря і основних встановлених значень цих характеристик, які повинні бути досягнуті внаслідок виконання необхідних заходів. Відповідно до попередження трьох ступенів небезпеки роботи на підприємствах під час НМУ проводять за трьома режимами. Як правило, за рахунок регулювання викидів зниження концентрації шкідливих домішок у повітрі, під час роботи за першим режимом, повинно бути забезпечене на 15 % – 20 %, за другим — на 30 % – 40 %, за третім режимом — на 50 % і більше.

14.2.1. Окремі джерела та групи джерел

Оцінюючи ступінь зниження концентрацій, слід виходити з потреби досягнення рівня забруднення, яке має місце за нормальних метеорологічних умов. Ефект від скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу внаслідок ужитих заходів є найбільшим за умови зменшення викидів низьких неорганізованих джерел.

Як уже було зазначено вище, всі джерела викидів підприємства розподіляються на групи з подібними НМУ. Попередження складаються для кожної групи джерел. Оцінювання внеску джерел у створенні приземних концентрацій також проводять окремо за виділеними групами. Докладніше про це у [17].

Отже, щоб організувати регулювання викидів, у зв'язку з попередженням про можливе формування високого рівня забруднення повітря в районі окремих джерел і оцінювання необхідного зниження викидів, потрібно спочатку виконати такі роботи:

- на кожному обслуговуваному підприємстві, відповідно до наведених рекомендацій томів “Охорони атмосфери і гранично допустимих викидів (ГДВ)”, розподілити джерела на групи з подібними до НМУ;

- визначити окремо для кожної групи джерел сумарний вихід за градаціями висот. Орієнтовно оцінити внесок у створення приземних концентрацій викидів, які надходять в атмосферу з градацій висот. По змозі розрахувати поля концентрацій домішок, які утворює кожна група джерел підприємства, коли не вживали заходи щодо зменшення викидів, а також коли їх було вжито;

- оцінити ступінь зниження концентрацій домішок у повітрі, вживши відповідні заходи;

- на основі виконаних оцінок віднести кожний захід до того чи іншого режиму роботи під час НМУ.

Потрібне зниження концентрацій досягається вибором з розробленого переліку і реальним здійсненням комплексу заходів щодо регулювання викидів, ефективність кожного з яких оцінюють заздалегідь.

14.2.2. Загалом по місту

Оцінюючи ступінь зниження концентрацій, рекомендовано виходити з того, що високий рівень забруднення повітря загалом по місту утворюється в основному низькими викидами. Умовно віднесемо до них усі викиди, які надходять в атмосферу на висоті, що не перевищує 50 м від земної поверхні. Це перш за все викиди автотранспорту, дрібних котелень, низькі неорганізовані викиди промислових підприємств, викиди внаслідок відкритого спалювання побутового та іншого сміття на території міста тощо.

Під час регулювання викидів, у зв'язку з високим рівнем очікуваного забруднення повітря загалом по місту, слід виходити зі значення інтегрального показника забруднення повітря загалом по місту (параметрів P або Q). За критичні приймають значення P або Q ($P_{кр.}$ і $Q_{кр.}$), які перевищуються у 10 % випадків. Саме такі значення повинні бути досягнуті після зниження викидів під час НМУ. Як уже відмічалось у попередніх розділах, у більшій частині міст України, де впроваджені методики УкрНДГМІ, $Q_{кр.}$ дорівнює 1,2 –1,4; у разі використання параметра P для Києва $P_{кр.}$ приблизно дорівнює 0,3.

Потім розраховують критичне значення середньої концентрації викидів по місту:

$$\bar{q}_{кр.} = Q_{кр.} \cdot q_{серед.}, \quad (14.1)$$

де $q_{серед.}$ – середня за сезон концентрація.

Значення середньої за сезон концентрації ($q_{серед.}$) визначають для різних домішок і у випадках використання параметра P як предиктанта. При цьому враховують кореляцію між P і Q .

Коли неможливо оцінити вклад окремих домішок у формуванні загальноміського рівня забруднення повітря, можна припустити, що кожна домішка однаково формує високе значення параметра P .

Досягнення необхідних критичних значень інтегральних показників забруднення повітря забезпечується зниженням середньої по місту концентрації домішок у межах раніше запропонованих концентрацій, а саме: у випадках попередження щодо першого ступеня небезпеки — на 15 % –20 %, другого — на 30 % – 40 %, третього — на 50 %.

Заходи щодо скорочення викидів під час НМУ можуть бути загальними, які застосовують на підприємствах різних галузей, та специфічними, що стосуються конкретних виробництв.

Заходи щодо скорочення викидів у повітря забруднювальних речовин під час різних режимів роботи підприємств у випадках НМУ, докладно описані в томах ГДВ кожного підприємства. Нижче наведено основні заходи:

а) I режим:

- посилення контролю за точністю дотримання технологічного регламенту виробництва;
- заборона роботи обладнання у форсованому режимі;
- посилення контролю за роботою контрольно–вимірювальних приладів і автоматичних систем управління технологічними процесами;
- посилення контролю за технічним станом та експлуатацією всіх газоочисних установок;
- забезпечення ефективного зрошування апаратів пиле– та газовловлювачів;
- проведення вологого прибирання виробничих приміщень підприємства, де це дозволено правилами охорони праці тощо.

б) II режим:

- зменшення інтенсивності технологічних процесів, пов'язаних із підвищеними викидами шкідливих речовин в атмосферу на підприємствах, де можна використати якіснішу сировину, або інтенсифікувавши їх компенсувати відставання під час НМУ;
- переведення котелень і ТЕЦ, де це можливо, на природний газ або малосірчане та малозольне паливо, під час роботи з яким забезпечується зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу;
- заборона спалювання відходів виробництва і сміття, якщо це відбувається без використання спеціальних установок тощо.

в) III режим:

- зниження навантаження або припинення виробництв, які супроводжуються значним виділенням забруднювальних речовин;
- перерозподіл навантаження виробництв і технологічних ліній на більш ефективне устаткування;
- заборона виїзду на лінію автотранспортних засобів (зокрема й річкового транспорту) з не відрегульованими двигунами;
- зупинення технологічного устаткування у випадку виходу з ладу газоочисних споруд тощо.

15. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ЗА ДАННИМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА КОНЦЕНТРАЦІЯМИ ДОМІШОК У ПОВІТРІ

Якщо в містах, де функціонує стабільне виробництво і щоденна потужність викидів не сильна, а роботи щодо їхнього регулювання на основі прогнозів ведуться регулярно, зниження рівня забруднення повітря після чергового попередження і подальшого зберігання НМУ свідчить про ефективність проведених робіт, тому що підприємства, які отримали таке попередження, скоротили свої викиди.

Позитивна тенденція виявляється й у випадках використання узагальнених показників забруднення повітря в місті (параметри Q або P).

Приклад

Якщо під час складання попередження параметр Q' дорівнює 1,4, а в день дії попередження він дорівнює 1,0 за умови збереження НМУ, таке попередження є ефективним.

Попередження є ефективним й у випадку, коли, незважаючи на виникнення НМУ, рівень забруднення повітря не дуже зростає, значення параметрів Q або P не перевищує встановлений критерій.

Приклад

Якщо параметр Q' дорівнює 1,0, а в день дії попередження він дорівнює 1,3 (при $Q_1 \geq 1,4$) за умови збереження НМУ, можна відзначити, що високий рівень забруднення був попереджений.

Якщо регулювання викидів проводять на невеликій кількості об'єктів, ефект можна виявити, аналізуючи значень концентрацій на тих постах спостережень, у район яких (за відповідних напрямів вітру) переносяться домішки від обслуговуваних об'єктів.

Примітка. Концентрації порівнюють з даними вимірювань, виконаних на цих постах за аналогічних метеорологічних умов до регулювання викидів.

Ефективність робіт може бути суттєвою у випадках короткочасного зниження викидів на основних промислових, енергетичних, опалювальних, автотранспортних підприємствах тощо, розташованих на території міста.

ДОДАТОК А
(довідковий)
БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Багров Н.А. К вопросу об оценке гидрометеорологических прогнозов // Метеорология и гидрология.– 1953, С.13–16.
- 2 Безуглая Э.Ю., Сонькин Л.Р. Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха в городах Советского Союза./ В сб. “Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы” – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. С.241–252.
- 3 Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения воздуха. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975, 448с.
- 4 Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985, 272с.
- 5 Бызова Н.Л. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы. – М.: Гидрометеоиздат, 1974, 192с.
6. Генихович Е.Л., Гущин В.А., Сонькин Л.Р. О возможности прогноза загрязнения городского воздуха методом распознавания образов / Труды ГГО. –1973. –Вып. 293. С.21–25
7. Берлянд М.Е., Кончан Я.С. К теории образования радиационных туманов и их влияние на распределение примесей // Труды ГГО, 1973. – Вып.293. – С.3 – 20.
8. Елекоева Л.И., Ивлева Т.П., Киселев В.В., Сонькин Л.Р. Объективная статистическая схема прогноза загрязнения воздуха в городах //Труды ГГО, 1987. – Вып.511. –С.119–124.
9. Елекоева Л.И. Прогноз загрязнения атмосферы с использованием преобразованных предикторов // Труды ГГО.–1987.–Вып.511.–С.124–132.
10. КД 52.4301–03 “Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди“ / Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2003
11. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря в містах України. //Труды УкрНДГМІ. – 2002. –Вип. 250. –С.288–297
12. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Вплив метеорологічних умов на забруднення повітря у промислових містах України //Збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”, том 13, Київ, 2007. –С.208–215.
13. Лоева И.Д. Модели распознавания уровня загрязнения атмосферы и их использование в задачах контроля и прогноза // Труды Международной конференции ВМО по моделированию загрязнения атмосферы. – Л. 1986.
14. Методические указания по прогнозу загрязнения воздуха в городах (под ред. М.Е.Берлянда. –Л.: Гидрометеоиздат, 1979, – 80 с.

15. Методические указания по прогнозированию загрязнения воздуха в городах с учетом метеорологических условий /РД 52.04.–78–86/ – М.: Гидрометеиздат, 1986.–59с.
16. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД – 86. –Л.: Гидрометеиздат, 1987.–92с.
17. Методические указания “Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях” /РД 52.04.52–85/ –Л.: Гидрометеиздат, 1987.
18. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди / Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2003.
19. Неронова Л.М., Тихомирова Л.В. Синоптический метод краткосрочного прогноза метеорологических факторов, определяющих загрязнение атмосферы. //В кн...: Прогнозирование загрязнения атмосферы. –Л.: Гидрометеиздат, 1984.– С.123–125.
20. Отчет о научно–исследовательской работе “Разработать методику прогнозирования уровней загрязнения атмосферы равнинных городов УССР с заблаговременностью не менее 24 часов” (заключительный). Киев, УкрНИГМИ, 1991–128с
21. Пономаренко И.Н., Огановская Д.К., Щепец О.И. Синоптико–статистический краткосрочный прогноз загрязнения отдельными примесями в городе с рассредоточенными источниками // Труды УкрНИГМИ, 1979, – вып.176. – С.75–82.
22. Рыбченко А.А., Гавриленко Л.И., Глущенко З.И. О представлении результатов статистического загрязнения атмосферы при оценке диагноза и прогноза его уровней // Труды УкрНИГМИ, 1987, – вып. 224. – С.35–41.
23. „Руководство по краткосрочным прогнозам погоды”, ч.І – Л.: Гидрометеиздат, 1986.
24. Сонькин Л.Р. Синоптико–статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы.– Л.: Гидрометеиздат, 1991.–223 с.
25. Сонькин Л.Р., Николаев В.Д. Синоптический анализ и прогноз загрязнения атмосферы // Метеорология и гидрология. –1993. –№5. – С.19–20.
26. Сонькин Л.Р., Ивлева Т.П., Волкодаева М.В. Схема прогноза распределения концентраций примесей в воздухе на территории города с использованием метода разложения по естественным ортогональным функциям //Труды ГГО, – 1998, вып.549. – С.87–97
27. Сонькин Л.Р. и др. Прогнозирование высоких уровней загрязнения воздуха в городах и промышленных регионах // Современные исследования Главной Геофизической обсерватории. Санкт–Петербург. – Гидрометеиздат, 2001, С.195–204.

Ключові слова: Прогноз забруднення атмосфери, показники забруднення повітря, рівень забруднення, рівняння регресії, предиктор, предиктант, метеорологічні величини забруднення повітря, шкідлива домішка, справджуваність прогнозу.

,