



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування

**Клименко М. О., Ковальчук Н. С.**

**АТМОСФЕРА ЗЕМЛІ: ОСНОВНІ АСПЕКТИ  
ТА ЧИННИКИ ВПЛИВУ**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування  
*Навчальний посібник*

**Рівне - 2022**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

УДК 502.3:504.31(075)

К49

### **Рецензенти:**

**Лико Д. В.**, доктор сільськогосподарських наук, професор,  
завідувач кафедри екології РДГУ, м. Рівне;

**Прищепта А. М.**, професор кафедри екології, технології захисту  
навоколишнього середовища та лісового господарства, НУВГП,  
м. Рівне.

*Рекомендовано вченою радою Національного університету  
водного господарства та природокористування.*

*Протокол № 4 від 23.04.2021 р.*

**Клименко М. О., Ковальчук Н. С.**

**К49** Атмосфера Землі: основні аспекти та чинники впливу :  
навч. посіб. – Рівне : НУВГП, 2022. – 269 с.

**ISBN 978-966-327-525-3**

В роботі представлено сучасні методи оцінювання стану  
атмосферного повітря, впливу забруднення атмосфери на здоров'я  
населення, методи розрахунку антропогенного навантаження на стан  
забруднення атмосфери.

Книга призначена для науковців, викладачів, студентів та  
фахівців в галузі охорони атмосферного повітря.

**УДК 502.3:504.31(075)**

**ISBN 978-966-327-525-3**

© М. О. Клименко, Н. С. Ковальчук, 2022

© Національний університет водного  
господарства та  
природокористування, 2022



## ЗМІСТ

|   |     |
|---|-----|
| Вступ.....  | 5   |
| Розділ 1. Атмосфера, її будова та склад .....   | 7   |
| 1.1. Характеристика атмосфери Землі.....  | 7   |
| 1.2. Будова земної атмосфери.....   | 9   |
| 1.3. Основні газові складові атмосфери.....   | 20  |
| Розділ 2. Забруднення атмосферного повітря.....   | 27  |
| 2.1. Природні джерела забруднення атмосфери.....  | 27  |
| 2.2. Антропогенні джерела забруднення атмосфери.....  | 29  |
| 2.3. Забруднення повітря пересувними джерелами.....   | 33  |
| 2.4. Інші джерела забруднення атмосферного повітря.....   | 35  |
| РОЗДІЛ 3. Закономірності поширення забруднюючих речовин в атмосфері.....  | 40  |
| 3.1. Вплив температурних інверсій, швидкості вітру, рельєфу та інших чинників на приземні концентрації.....                 | 41  |
| Розділ 4. Наслідки забруднення атмосферного повітря.....  | 53  |
| 4.1. Антропогенні зміни клімату міст.....   | 57  |
| 4.2. Димки, тумани, смоги.....  | 69  |
| 4.3. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я людини.....  | 78  |
| Розділ 5. Моделювання та розрахунок забруднення атмосфери.....  | 102 |
| 5.1. Нормування вмісту домішок в повітрі.....   | 102 |
| 5.2. Визначення забруднення приземного шару атмосфери із застосуванням розрахункових методів математичного моделювання..... | 122 |
| 5.2.1. Визначення максимальних приземних концентрацій.....  | 123 |
| 5.2.2. Врахування впливу рельєфу при розрахунках забруднення атмосфери.....   | 129 |
| 5.2.3. Розрахунок розсіювання домішок в приземному шарі.....  | 136 |
| 5.2.4. Фонове забруднення атмосфери.....  | 146 |
| 5.2.5. Розрахунок забруднення викидами від лінійного джерела.....   | 162 |
| 5.2.6. Розрахунок забруднення викидами від групи джерел.....  | 164 |



|   |     |
|---|-----|
| 5.3. Розробка нормативів гранично допустимих та тимчасово-погоджених викидів для стаціонарного джерела .....  | 166 |
| 5.4. Визначення та уточнення розмірів СЗЗ.....  | 182 |
| 5.5. Визначення екологічної техноємності території  | 183 |
| 5.6. Визначення економічного збитку від негативного впливу викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря .....  | 185 |
| 5.7. Розрахунок забруднення приземного шару атмосфери для Державного підприємства «Клеванське лісове господарство».....   | 186 |
| Розділ 6. Інтегральна оцінка стану атмосферного повітря...  | 206 |
| 6.1. Приклад розрахунку комплексного індексу забруднення атмосфери.....   | 212 |
| Розділ 7. Нормативно-правове забезпечення в галузі охорони атмосферного повітря.....  | 215 |
| 7.1. Правові основи охорони атмосферного повітря...   | 215 |
| 7.2. Механізми та інструменти державного регулювання охорони атмосферного повітря.....  | 226 |
| 7.3. Правове регулювання якості атмосферного повітря в ЄС.....  | 232 |
| Список використаної літератури... ..  | 238 |
| Додаток А. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.....               | 241 |
| Додаток Б. Додаток 1 до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.....  | 259 |
| Додаток В. Додаток 2 до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря ..... | 259 |
| Додаток Г. Інформаційні технології, що використовуються для забезпечення розрахунку, аналізу, обробки та звітності щодо забруднення атмосферного повітря в Україні.....               | 260 |





## ВСТУП

Однією із основних засад внутрішньої та зовнішньої політики України є збереження навколишнього середовища та його складових, що є життєво необхідним для існування людини, її нинішнього й майбутніх поколінь. З метою виконання цього Україна визнає забезпечення екологічної безпеки одним із основних напрямів державної політики національної безпеки України.

За своєю суттю державна екологічна політика, серед іншого, спрямована на вирішення існуючих екологічних проблем, що призводять до негативних екологічних, соціальних та економічних наслідків, а також на попередження їх виникнення й поширення.

Як зазначається в Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем. На сьогодні рівень забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових регіонів є високим, незважаючи на спад виробництва в Україні.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, забруднення повітря є одним з основних факторів ризику для здоров'я, пов'язаних з навколишнім середовищем. Чим нижче рівні забруднення повітря, тим менше серцево-судинних і респіраторних захворювань як в тривалій, так і в короткостроковій перспективі.

Атмосферне повітря – це дуже важливий природний ресурс, який необхідно оберігати, тому Закон України «Про охорону атмосферного повітря» – це документ, який має захищати, регулювати, контролювати стан атмосферного повітря з метою забезпечення конституційного права громадян на безпечно довкілля. Адже забруднення атмосфери завдає шкоди здоров'ю людей, сільськогосподарським культурам, екосистемам і навіть об'єктам культурної спадщини.

Нажаль однією з найважливіших проблем сьогодення являється забруднення приземного шару атмосфери викидами антропогенного характеру. Викиди стаціонарних та пересувних



джерел призводять до накопичення шкідливих для здоров'я людини речовин у містах та промислових регіонах України. Стан атмосферного повітря в Україні зазначається як незадовільний, а у деяких регіонах (наприклад, Маріуполь, Кривий Ріг, Запоріжжя та ін.) – вкрай загрозливий. Лише у Києві викиди автомобільного транспорту становлять близько 110 тис. тон шкідливих речовин на рік. Головним джерелом забруднення атмосферного повітря в Україні від викидів стаціонарних джерел є підприємства паливно-енергетичного комплексу – 36% від загального обсягу викидів, підприємства обробної – 35% та видобувної промисловості – 25%. Основними забруднюючими речовинами є оксиди вуглецю, азоту, діоксиди сірки, аміак, феноли, формальдегід, бензапірен.

Результатом цього є погіршення стану довкілля і, як наслідок, хронічні та гострі форми респіраторних хвороб та інші види захворювань. Згідно статистики Світової організації здоров'я забруднення повітря є одним з основних чинників проблем зі здоров'ям у багатьох куточках світу.

За даними Організації Об'єднаних Націй, щороку через хвороби від викидів в атмосферу помирає близько 7 мільйонів людей у всьому світі. В Україні також чимала сумна статистика: в Центрі громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я за даними 2017-го заявляють, що опосередковано в нашій країні до 8% смертей пов'язано зі впливом забрудненого повітря.

Для вирішення цієї проблеми необхідно вживати різних заходів, але вони потребують належного наукового обґрунтування та моделювання процесів розсіювання шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери.

Отже, атмосферне повітря є життєво важливим компонентом навколишнього природного середовища, невід'ємною частиною середовища проживання людини, рослин і тварин. Від його якісного стану залежать водночас і умови життя на Землі, і саме життя. У цей час негативний антропогенний вплив на цей природний компонент привів до істотного погіршення його якості, що відбивається і на здоров'ї населення, і на стані навколишнього середовища в цілому.



## РОЗДІЛ 1 АТМОСФЕРА, ЇЇ БУДОВА ТА СКЛАД

### 1.1. Характеристика атмосфери Землі

*Атмосфера* (від грец. *ἀτμός* – пара і *σφαιρα* – куля, м'яч) – газоподібна оболонка Землі та інших небесних тіл.

*Атмосфера планети Земля* – одна з геосфер, суміш газів, що оточують Землю, та під дією сили тяжіння обертається разом з нею і сягає висоти в кілька земних радіусів, де поступово переходить у міжпланетний простір [1].

Маса 5,151015 т (близько 0,000001 частини маси Землі).

Атмосфера в основному складається з азоту ( $N_2$ , 78,08%) і кисню ( $O_2$ , 20,95%). Решта – це аргон (0,93%) та вуглекислий газ ( $CO_2$ , 0,03%)<sup>[1]</sup> із неонем, гелієм, метаном, криптоном, воднем та невеликими домішками інших газів (разом до 0,01%). Крім того атмосфера містить близько  $1,3\text{--}1,5 \cdot 10^{16}$  кг води, основну масу якої зосереджено у тропосфері [1; 2].

Атмосфера – дуже рухливе середовище. Вона разом із Землею обертається навколо Сонця та навколо земної осі. Крім того, повітря постійно знаходиться у рухах відносно земної поверхні.

Атмосфера Землі рівномірно огортає нашу планету та створює на ній особливі умови для існування життя. Насамперед, ці умови визначаються основними фізичними властивостями атмосфери: здатністю до часткового поглинання та часткового розсіювання сонячної радіації, тепло- та вологообміну із землею поверхнею та, власне, циркуляції атмосферних мас. Що не менш важливо, хімічний склад атмосфери у її приземних шарах є визначальним для забезпечення процесів енергетичного обміну в живих організмах.

Нижня межа атмосфери є більш-менш вираженою в місці контакту з землею корою або гідросферою, верхня межа атмосфери губиться у відкритому космосі.

Загальна маса атмосфери оцінюється у  $(5,2 \cdot 10)^{18}$  т, що складає лише 0,4% маси гідросфери або 19% маси земної кори.



Проте, процеси, які проходять у атмосфері, є надзвичайно динамічними і визначають більшість явищ у біосфері.

Основною складовою атмосфери є повітря – суміш газів. Середній склад атмосферного повітря на рівні моря: азот – 78,09%, кисень – 20,95%, аргон – 0,93%, вуглекислий газ – 0,03%. (рис. 1.1).

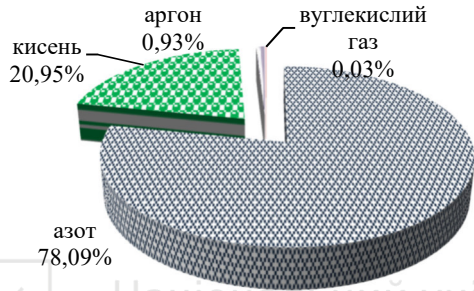


Рис. 1.1. Структура основних складових атмосферного повітря

Крім того, обов'язковим компонентом атмосфери є вода, яка може існувати в різних формах. Газоподібна вода (водяна пара) складає в середньому до 0,25% маси повітря. Традиційно водяну пару не враховують як складову повітря через мінливість її вмісту. Її кількість у повітрі характеризується значними коливанням як протягом сезону та доби, залежить від широти або висоти над землею поверхнею. Зазвичай межі коливань становлять 0,02–4,00%. Крім того, вода в атмосфері може тривалий час існувати у рідкому або твердому стані. Також у повітрі міститься пил та аерозолі.

Біогеохімічна роль газових компонентів не відповідає їх загальному вмісту у повітрі: азот – відносно інертний газ, який за звичайних умов практично не бере участь у хімічних процесах біосфери. Проте, кисень, вуглекислий газ та вода – є найважливішими для всього живого компонентами атмосфери, які визначають як фізичні явища в атмосфері (зокрема енергетичний баланс біосфери), так і хімічні процеси (окислення, формування вільних радикалів).



## 1.2. Будова земної атмосфери

Атмосфера за своїми фізичними властивостями неоднорідна у вертикальному і горизонтальному напрямках. Змінюються всі параметри, що характеризують стан атмосфери: температура, тиск, густина повітря, газовий склад, особливо вологість, концентрація рідкого та твердого аерозолу, швидкість вітру.

У найбільшій мірі вони змінюються у вертикальному напрямку. Температура повітря, наприклад, на кожний кілометр висоти в середньому змінюється на  $6,5^{\circ}\text{C}$  у нижньому шарі атмосфери товщиною 11 км, а у горизонтальному напрямку на таку ж величину – на відстані 500-600 км.

Тиск повітря теж зменшується з висотою. У залежності від того, який з параметрів атмосфери беруть за основу, запроваджують відповідний принцип поділу атмосфери на шари.

Розглядають п'ять принципів, на основі яких атмосферу у вертикальному напрямку ділять на шари: за розподілом температури повітря з висотою; за складом атмосферного повітря; за наявністю заряджених часток; за характером взаємодії атмосфери з поверхнею Землі; за впливом атмосфери на апарати [3].

Для атмосфери є характерним виражена вертикальна гетерогенність. За рядом фізичних параметрів повітряну оболонку Землі умовно поділяють на кілька шарів: *тропосферу*, *стратосферу*, *мезосферу*, *термосферу*.

Між цими шарами розташовуються перехідні шари: тропопауза, стратопауза, мезопауза і термопауза.

Існує також поділ атмосфери на три частини: *нижню атмосферу* (тропосфера та тропопауза до висоти 30 км), *середню атмосферу* (стратосфера, мезосфера та мезопауза від 30 до 100 км) та *верхню атмосферу* (вище 100 км). Цей поділ дещо відрізняється від традиційного, але він відповідає міжнародній практиці.

Тропосфера – шар атмосфери, розташований між поверхнею Землі та тропопаузою.



*Тропосфера* – нижній шар атмосфери (16–18 км на екваторі, 10–12 км над помірними широтами та 8–10 км над полюсами), в якому відбувається більшість метеорологічних процесів та зосереджене все наземне життя на планеті.

Характерною особливістю тропосфери є падіння з висотою температури повітря. Середня швидкість падіння дорівнює  $0,65^{\circ}\text{C}$  на 100 м висоти. Але у конкретних випадках температура може зменшуватись з висотою з різною швидкістю, більш того, може навіть у деяких шарах атмосфери зростати.

У тропосфері зосереджується більшість маси атмосфери: від 75% у помірних широтах до 90% – у низьких.

Тропосферу поділяють на три шари. Нижній товщиною 1,0–1,5 км, як вже зазначалося, називають граничним шаром. Другий шар від 1,0–1,5 км до 6–8 км називають середньою тропосферою, а від 6-8 км до тропопаузи – верхньою тропосферою [3; 4].

Тропосфера за своїми фізичними властивостями неоднорідна не тільки у вертикальному, але й у горизонтальному напрямку. У горизонтальній площині змінюється температура, тиск, вологість повітря, хмарність, а також інші метеорологічні величини. Змінення значень метеорологічних величин відбувається нерівномірно. Існують великі простори повітря у тропосфері, горизонтальні масштаби яких порівняні з масштабами континентів та морів, де фізичні властивості повітря майже не змінюються або змінюються дуже повільно. Вони носять назву повітряних мас. За своїми температурними властивостями повітряні маси поділяють на теплі й холодні. Крім того, повітряним масам надають назву в залежності від положення осередку формування, наприклад, арктичне повітря (АП), помірне повітря або повітря помірних широт (ПП), тропічне повітря (ТП), екваторіальне повітря (ЕП).

В нижній тропосфері нерідкі інверсії температури. Атмосферний тиск з висотою значно зменшується. Швидкість вітру зростає. У верхній тропосфері спостерігаються струминні потоки, в нижній частині переважають вітри західного та східного напрямку, сезонні (мусони) та постійні (пасати). В тропосфері відбуваються основні процеси перетворення енергії



Сонця в кінетичну енергію атмосферних рухів, в скрите тепло водяної пари. Тут протікають основні фазові переходи вологи, формуються хмари та опади. В тропосфері утворюються атмосферні фронти, розвиваються циклони та антициклони, інші атмосферні процеси, що визначають погоду. Нижня тропосфера являє собою середовище життя багаточисельних організмів (комах, птахів, мікроорганізмів). Вона дуже запилена та забруднена аерозолями. Вона практично прозора для короткохвильової сонячної радіації. Разом з тим, водяна пара, вуглекислий газ та озон поглинають довгохвильове випромінювання нашої планети, в результаті чого тропосфера нагрівається. Це нагрівання є причиною вертикального переміщення потоків повітря, конденсації водяної пари, утворення хмар та випадання опадів [5].

В межах тропосфери виділяють так званий *планетарний прикордонний шар* повітря. Цей шар характеризується добре розвинутим перемішуванням (турбулентним обміном), на який впливає шорсткість земної поверхні. В прикордонному шарі поглинається більша частина тепла і майже вся волога, яка переноситься в процесі турбулентного обміну. Висота прикордонного шару непостійна, коливається в часі і залежить від інтенсивності турбулентного перемішування. Вдень, коли ця поверхня нагріта сонцем, тепло переноситься вгору до інших холодних шарів атмосфери. В цих умовах прикордонний шар може розвиватися до висоти 102 км. Вночі, коли поверхня охолоджується швидше, ніж атмосфера, потік тепла направлений вниз, що зменшує турбулентність і товщина прикордонного шару в цих умовах може стати менше 100 м. Отже, це шар повітря, який вповодж доби періодично зменшується та збільшується. Найбільш активно ці процеси протікають в нижній частині планетарного прикордонного шару, товщиною біля 30–50 м. Цей шар називають приземним (приводним) шаром. Характеристики прикордонного шару визначаються, насамперед, процесами в тропосфері. Цей шар повітря важливий для нас тому, що в ньому зосереджено майже всі природні та антропогенні джерела забруднення атмосфери [3; 4].



*Тропопауза* – перехідний шар між тропосферою та стратосферою, її висота і температура залежать від широти. У полярних широтах тропопауза розташовується на висоті біля 8 км з температурою повітря 220 К у той час, коли на екваторі висота її досягав 18 км, а температура повітря біля 190 К.

*Стратосфера* – шар атмосфери простирається до висоти 48–50 км. Тут зосереджено близько 20% маси повітря. Повітря у стратосфері практично не містить води, проте містить достатньо багато озону. У стратосфері за рахунок фотохімічних реакцій відбувається утворення озону, відбувається іонізація атмосферних газів, утворюються вільні радикали. В результаті, короткохвильове випромінювання Сонця практично не проникає до тропосфери, поглинаючись у стратосфері. Незважаючи на значну віддаленість від поверхні Землі, фотохімічні процеси в стратосфері є важливими для існування життя на планеті.

Стратосфера характеризується стабільною температурою в нижній частині та підвищенням її з висотою, що пов'язано з інтенсивним поглинанням короткохвильового ультрафіолетового випромінювання озоном, зосередженим на висоті 30–50 км. Вище 35 км температура помітно підвищується до висоти 50 км, де вона біля 270 К. Цей шар атмосфери дуже розріджений, кількість основних газів (кисню, азоту) зменшується, а водню, гелію та інших легких газів збільшується. Утворений тут озоновий екран поглинає УФ-радіацію та значно впливає на теплові умови поверхні Землі та фізичні процеси в тропосфері. Нижня стратосфера на висоті 20–25 км відрізняється підвищеним вмістом аерозольних часточок, особливо сульфатних, що заносяться у стратосферу при вулканічному виверженні. Вони зберігаються тут довше, ніж в тропосфері, внаслідок малого турбулентного обміну та відсутності вимивання опадами. (Стратосфера як правило, дуже суха: на висоті 20 км над тропіками концентрація водяної пари складає всього  $2 \text{ млн}^{-1}$  (за об'ємом), а над полярними широтами – біля  $5 \text{ млн}^{-1}$ ). Цей аерозольний шар стратосфери, збільшуючи атмосферне альbedo, призводить до деякого зниження температури повітря біля земної поверхні, особливо сильному після сильних вивержень вулканів [3].





Основною ознакою стратосфери є підвищення температури повітря, досягаючи на її верхній межі стабільних величин від  $-30$  до  $+20^{\circ}\text{C}$  (в залежності від широти та сезону). Ця область стабільної температури отримала назву *стратопаузи*.

*Стратопауза* – перехідний шар між стратосферою і мезосферою. Розташовується вона на висотах 47–52 км. Температура в області стратопаузи змінюється мало.

*Мезосфера* – шар атмосфери на висоті 40–50 – 80–90 км. Характеризується значним розрідженням повітря та різким підвищенням температури до  $+50^{\circ}\text{C}$  на висоті 60 км.

Мезосфера – шар атмосфери, де температура падає з висотою аж до рівня 85 км. На цій висоті спостерігається другий мінімум температури повітря (перший був на рівні тропопаузи). Температура на верхній границі мезосфери у середньому дорівнює 186 К.

Мезопауза – перехідний шар між мезосферою та термосферою. Вона спостерігається на висотах 85–95 км і характеризується постійністю температури (біля 186 К).

Зниження температури з висотою до 160 К в її верхній частині сприяє конденсації водяної пари та утворенню на висоті біля 80 км так званих мезосферних (сріблястих) хмар.

В мезосфері можливе підвищення іонізації – виникати так званий D-шар іоносфери, який змінюється в часі та за сезонами і залежить від активності Сонця (на висотах 70–90 км).

*Мезопауза*, розташована на висоті приблизно 85 км, відділяє мезосферу від розташованої вище термосфери.

*Термосфера* – фактично не є частиною атмосфери. Верхня межа є нечіткою і знаходиться на висоті близько 800 км.

*Термосфера (іоносфера)* – розріджений шар верхньої атмосфери, що лежить на висоті 80–1000 км.

В термосфері є значна кількість іонізованих часточок, що відбивають електромагнітні хвилі. Це явище використовується для здійснення радіозв'язку. Термосфера умовно поділяється на три області: D – на висоті 50–100 км, E – 100–150 км, F – 150–800 км. Область D частково охоплює й мезосферу. В ній температура в основному коливається від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . В



області E температура на окремих ділянках підвищується до  $+ 600^{\circ} \text{C}$ , для області F точних даних про температурний профіль немає.

В іоносфері під дією сонячної радіації протікає багато реакцій, в яких бере участь кисень, озон, азот, оксид азоту, пари води, діоксид вуглецю. При цьому утворюються позитивно та негативно заряджені іони. В основному відбувається іонізація в шарі атмосфери на висоті 70–80 км.

Для термосфери характерно збільшення температури з висотою до 2000 K в періоди значної сонячної активності і до 1060 K при малій активності, обумовлене поглинанням короткохвильового випромінювання, а також корпускулярного та рентгенівського випромінювання Сонця молекулами азоту, кисню та атомами, що переважають в її складі. Основні параметри T змінюються в залежності від географічного положення, сонячної активності, пори року, а також протягом доби.

В термосфері, на висоті більше 100 км, суттєво змінюється склад повітря: розпадаються всі молекули  $\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{CO}_2$  і значна доля молекул  $\text{O}_2$  дисоціює на атоми O. В цьому шарі посилюється іонізація газів і виникає так званий шар *іоносфери* E, а на ще більших широтах шар F. Рух часточок тут залежить і від приливних сил, які створюються силами тяжіння Сонця та Місяця, особливо в низьких широтах.

В термосфері метеори створюють посилену іонізацію і в той же час, розпадаючись, утворюють метеорний пил, потоки сонячних протонів та електронів викликають полярні сйва та збурення магнітного поля Землі, а також несподівані «іоносферні збурення», які перешкоджають радіозв'язку.

*Екзосфера* – верхній шар атмосфери, що простягається від висоти 450 км до верхньої границі атмосфери. Він характеризується дуже малою густиною повітря. Молекули та атоми газів з цієї області атмосфери можуть викидатися у міжпланетне середовище та назавжди лишати Землю.

Стратосферу, мезосферу, термосферу та екзосферу називають верхньою атмосферою, а тропосферу – нижньою



атмосферою.

За складом повітря атмосферу розділяють на два шари: гомосферу та гетеросферу [3].

*Гомосфера* простягається від земної поверхні до висоти 95 км. Вона характеризується тим, що відносний склад основних газів (азоту, кисню та аргону) і відносна молекулярна маса повітря практично не змінюються з висотою.

*Гетеросфера* поширюється в атмосфері вище 95 км. У ній поряд з молекулами  $N_2$  і  $O_2$  є і атоми цих газів  $N$  і  $O$ . Концентрація атомарних азоту та кисню з висотою збільшується. Тому у гетеросфері відносна молекулярна маса з висотою зменшується.

Молекули повітря до висоти 50–60 км не несуть на собі зарядів. З цієї точки зору шар атмосфери від земної поверхні до позначеної висоти називають нейтральною атмосферою. Вище за рахунок поглинення квантів сонячної енергії кількість заряджених часток (іонів та електронів) швидко збільшується. Тому атмосферу вище 50–60 км називають іоносферою.

Стратосфера і мезосфера поряд з тропосферою входять до гомосфери, тобто вони характеризуються однорідним складом основних газів. Інколи їх розглядають укупі, тобто як один шар, і називають стратомезосферою.

Температура повітря у стратосфері й мезосфері змінюється у просторі й за часом. Чітко виявляються сезонні коливання температури, які обумовлюються поглиненням та випромінюванням променистої енергії атмосферними газами. Крім того, у холодний період визначну роль у формуванні температурного режиму в цих шарах атмосфери відіграють фактори, що пов'язані з особливостями атмосферних рухів.

Зазначені процеси приводять до того, що в січні (зима північної півкулі) найбільш холодними зонами стратомезосфери виявляються мезосфера полярних широт, де температура досягає значень  $-80^\circ \dots -110^\circ \text{C}$ , і нижня стратосфера над Арктикою (температура біля  $-70^\circ \text{C}$ ), самою теплою частиною – зона полярної стратопаузи у південній півкулі (температура біля  $10^\circ \text{C}$ ) [3; 6; 7].



У липні (літо північної півкулі) найбільш високі значення температури (до  $10^{\circ}\text{C}$ ) спостерігаються на висоті 50–55 км над полярними широтами північної півкулі. При цьому зона теплового повітря поширюється аж до  $30^{\circ}$  південної широти. У той же час в арктичній мезосфері виникає зона холоду з температурою біля  $-140^{\circ}\text{C}$  і нижче.

*Екзосфера* – найбільш віддалена від Землі (від 800 та приблизно до 1600 км від її поверхні) оболонка, до ще містяться гази атмосфери і звідки відбувається відтік атомів, в основному водню та гелію, в світовий простір.

У стратосфері, на висоті від 11 до 50 км, спостерігається вміст в ній озону ( $\text{O}_3$ ). До висоти 10 км і більше 60 км озон майже відсутній, а найбільша концентрація його міститься на висоті 20–30 км. Озоновий шар у різних широтах розташований на різних висотах, а саме: в тропічних широтах на висоті 25–30 км, у помірних – 20–25 км, в полярних – 15–20 км. Озоновий шар утворився і утримується поєднаною взаємодією ультрафіолетового сонячного випромінювання із молекулами кисню ( $\text{O}_2$ ), які дисоціюють на атоми, а потім знову з'єднуються з іншими молекулами  $\text{O}_2$ , утворюючи озон ( $\text{O}_3$ ).

*Озоновий шар Землі* – це шар атмосфери, який знаходиться між 7–8 (на полюсах), 17–18 (на екваторі) та 50 км на поверхню планети і характеризується підвищеним вмістом молекул озону, який відбиває жорстке космічне випромінювання, згубне для всього живого на Землі [8; 9; 10].

Озоновий шар із концентрацією озону (близько  $8\text{ мл/м}^3$ ) поглинає шкідливі ультрафіолетові промені Сонця і служить надійним щитом від цього випромінювання, яке згубно для всього живого на Землі. Отже, завдяки озоновому шару, виникло життя на Землі. Якби увесь шар озону, що знаходиться в атмосфері, стиснути під тиском, і зосередити в поверхні Землі, то утворилася б плівка всього в 3 мм завтовшки. Однак плівка озону такої мізерної товщини надійно захищає Землю, поглинаючи небезпечні ультрафіолетові промені. При поглинанні сонячної енергії озоновим шаром, температура атмосфери підвищується, а значить, шар озону є своєрідним резервуаром теплової енергії в атмосфері. Крім цього, озон



затримує близько 20% випромінювання Землі, утеплюючи атмосферу.

Озон здійснює регулювання жорсткості космічного випромінювання, і якщо хоча б невелика кількість озону знищується, то різко зростає жорсткість випромінювання, а це призводить до змін у живому світі Землі.

Його концентрація на висоті 20–22 км від поверхні Землі сягає максимуму. Цей природний захисний шар дуже тонкий: в тропіках його товщина складає всього 2 мм, біля полюсів вона вдвічі більша.

Природним шляхом озон виділяється в атмосферу внаслідок діяльності фотосинтезуючих рослин (виділення кисню) та дії на кисень ультрафіолетового випромінювання:  $3\text{O}_2 + 285 \text{ кДж} = 2\text{O}_3$ .

Молекула озону містить три атоми кисню ( $\text{O}_3$ ) на відміну від звичайної, двоатомної молекули ( $\text{O}_2$ ). Глобальне забруднення атмосфери деякими речовинами (фреонами, оксидами азоту та ін.) може змінити функціонування озонового шару Землі.

Головну небезпеку для атмосферного озону складає група хімічних речовин, об'єднаних терміном «хлорфторвуглеводні» (ХФВ), які також називають фреонами. Протягом півсторіччя ці хімікати (вперше отримані в 1928 р.) вважались чудоречовинами. Вони нетоксичні, інертні, не горять, нерозчинні у воді, зручні у виробництві та використанні. Тому галузі застосування фреонів значно розширились. Їх широко використовували як холодоагенти при виготовленні холодильників. Потім вони стали застосовуватись в системах кондиціонування повітря, а з початком аерозольного буму отримали значно ширше застосування. Фреони також дуже ефективні при промиванні деталей в електронній промисловості, а також знайшли широке застосування при виробництві поліуретанів. Максимум світового виробництва фреонів відбувся у 1987–1988 роках і складав 1,2–1,4 млн т в рік, з яких на долю США припадало 35%.

Механізм діє фреонів такий. Фреони, потрапляючи у верхні шари атмосфери, стають активними. Під дією



ультрафіолетового випромінювання хімічні зв'язки в їх молекулах руйнуються, в результаті чого виділяється хлор, який при зіткненні з молекулою озону «вибиває» з неї один атом. Озон перетворюється в кисень, а хлор стає вільним і шукає нову «жертву». Його активності вистачає для руйнування десятки тисяч молекул озону.

Активну роль в утворенні та руйнуванні озону відіграють також оксиди азоту, важких металів (міді, заліза, марганцю), хлор, бром, фтор. Тому загальний баланс озону в стратосфері регулюється складним комплексом процесів, в яких беруть участь біля 100 хімічних та фотохімічних реакцій. Тепер можна сказати, що 70% озону руйнується за азотним циклом, 17 – за кисневим, 10 – за водневим, біля 2% – за хлорним і біля 1,2% надходить в тропосферу.

В цьому балансі азот, хлор, кисень, водень та інші компоненти беруть участь як каталізатори, не змінюючи свого змісту. Тому надходження у верхні шари атмосфери навіть невеликих кількостей таких речовин може стійко та довготривало впливати на баланс озону. Різні види фреонів можуть існувати в атмосфері і бути активними в руйнуванні озону від 75 до 100 років.

Непомітні спочатку зміни озонового шару призвели до того, що в Північній півкулі і в зоні від 30 до 64-го градуса північної широти з 1970 року загальний вміст озону скоротився на 4% взимку та на 1% влітку. Над Антарктидою – а саме тут вперше була виявлена «діра» в озоновому шарі – кожної полярної весни відкривається велика «діра», яка з кожним роком збільшується. Якщо в 1990–1991 роках розміри озонової «діри» не перевищували 10,1 млн км<sup>2</sup>, то в 1996 році, як повідомляє бюлетень всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), її площа вже складала 22 млн км<sup>2</sup>. Ця площа вдвічі більша за площу Європи. ВМО більше 40 років спостерігає за озоновим шаром над Антарктидою. Феномен регулярного утворення «дір» над нею та Арктикою пояснюється тим, що озон особливо легко руйнується при низьких температурах.

Вперше озонова аномалія в Північній півкулі була зафіксована в 1994 році і займала площу від Льодовитого океану



до Криму. Озоновий шар зменшився на 10–15%, а в окремі місяці – на 20–30%. А в лютому 1995 року вчені Центральної аерологічної обсерваторії (ЦАО) Росгідромету зареєстрували катастрофічне падіння (на 40%) озону над районами Східного Сибіру. Сьогодні важко говорити про періодичність утворення цієї «діри». Чи буде вона збільшуватись і на яку територію – це покажуть спостереження.

Якщо скласти хронологію озонових потрясінь, то це виглядатиме так: в 1985 році над Антарктидою зникла майже половина озонового шару, при цьому з'явилась «діра», яка через два роки розповзлася на десятки мільйонів кілометрів і вийшла за межі шостого континенту. З 1986 року зменшення озону не тільки продовжувалося, але різко збільшилося, у 2–3 рази швидше, ніж прогнозували вчені. В 1992 році озоновий шар зменшився не тільки над Антарктидою, але і над іншими районами планети. В 1994 році була зареєстрована величезна аномалія, що поширилась на райони західної та Східної Європи, Північної Азії та Північної Америки. Складається враження, що атмосфера вийшла з рівноваги і невідомо, коли вона стабілізується. Можливо, озонові метаморфози відображають довготривалі циклічні процеси, про які ми мало що знаємо? Для пояснення теперішніх озонових пульсацій нам не вистачає даних.

Багато країн світу розробляють та здійснюють заходи щодо виконання Віденських конвенцій про охорону озонового шару та Монреальського протоколу по речовинах, які руйнують озоновий шар.

Згідно міжнародних угод промислово розвинуті країни повністю припиняють виробництво фреонів та тетрахлориду вуглецю, які також руйнують озоновий шар, а країни, що розвиваються припинять це виробництво до 2010 року.

Наступним етапом має стати заборона на виробництво метилбромідів та гідрофреонів. Рівень виробництва перших в промислово розвинених країнах з 1996 року заморожений, гідрофреони повністю знімаються з виробництва до 2030 року.

Англійська група захисників довкілля, яка називається «Допоможіть озону» має надію відновити озоновий шар над



Антарктидою за допомогою запуску спеціальних повітряних куль з установками для виробництва озону.

Деякі роки тому була розроблена технологія заміни фреону спеціально підготовленим пропаном. Нині промисловість уже на третину зменшила випуск аерозолів з використанням фреонів. В країнах ЄЕС планується повне припинення використання фреонів на заводах побутової хімії та ін.

Руйнування озонового шару – один із чинників, що викликають глобальні зміни клімату на нашій планеті. Наслідки руйнування озонового шару можна проілюструвати прикладами. Так, зменшення озонового шару на 1% викликає 4%-ве збільшення раку шкіри. Викликаючи рак шкіри та її старіння, ультрафіолетове випромінювання одночасно гнобить імунну систему, що призводить до виникнення інфекційних, вірусних, паразитарних та інших захворювань, таких, як кір, вітряна віспа, малярія, туберкульоз та ін. Десятки мільйонів жителів планети повністю або частково втратили зір через катаракту – хворобу, яка виникає в результаті підвищеної сонячної радіації.

Збільшення дії ультрафіолетового випромінювання викликає деградацію екосистем та генофонду флори та фауни, зменшує врожайність сільськогосподарських культур та продуктивність Світового океану.

До дії ультрафіолетових променів дуже вразливі хвойні дерева та зернові, овочі, баштанні культури, бобові та цукрова тростина.

### **1.3. Основні газові складові атмосфери**

Згідно з сучасними уявленнями, приземний шар атмосферного повітря є сумішшю двох типів газів – постійних (азот, кисень, рідкі гази) та перемінних, з яких одні утворюються природним шляхом, а інші частково є результатом виробничої діяльності людини. Основними компонентами чистої незабрудненої атмосфери є азот, кисень, діоксид вуглецю та аргон, а також пари води, але їх вміст значно змінюється залежно від фізико-кліматичних умов та висоти над земною поверхнею (табл. 1.1) [11; 12].





Сухе повітря на 99,96% складається з трьох основних газів: азоту (біля 78%), кисню (біля 21%), аргону (біля 0,9%). Вона утримує мізерні кількості неону, гелію, криптону та водню. Характеристики газів, що складають сухе повітря, наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1  
Характеристики сухого повітря поблизу земної поверхні

| Газ                      | Об'ємний вміст, %     | Відносна молекулярна маса | Густина відносно густини повітря |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Азот (N <sub>2</sub> )   | 78,084                | 28,0134                   | 0,967                            |
| Кисень (O <sub>2</sub> ) | 20,946                | 31,9988                   | 1,105                            |
| Аргон (Ar)               | 0,934                 | 39,948                    | 1,379                            |
| Неон (Ne)                | $1,818 \cdot 10^{-3}$ | 20,683                    | 0,695                            |
| Гелій (He)               | $5,239 \cdot 10^{-4}$ | 4,0026                    | 0,138                            |
| Криптон (Kr)             | $1,14 \cdot 10^{-4}$  | 83,800                    | 2,868                            |
| Водень (H <sub>2</sub> ) | $5 \cdot 10^{-5}$     | 2,01594                   | 0,070                            |
| Ксенон (Xe)              | $8,7 \cdot 10^{-6}$   | 131,300                   | 4,524                            |
| Сухе повітря             |                       | 28,9645                   | 1,000                            |

Як видно у табл. 1.1 гази розміщені у порядку зменшення об'ємного вмісту. Під об'ємним вмістом розуміють процентне відношення об'єму, що займає газова складова, до загального об'єму суміші при умові приведення їх до однакової температури й тиску.

Зазначений у табл. 1.1 об'ємний вміст газів практично не змінюється до рівня 100 км. Причиною цього ефекту є добре розвинуте у цьому шарі атмосфери вертикальне перемішування повітря. Вище 100 км і до 200 км основними газами, як і нижче 100 км, є молекулярний азот, молекулярний та атомарний кисень, причому відносна кількість атмосферного кисню збільшується зі збільшенням висоти. Спостерігається добовий хід концентрацій цих газових компонентів повітря з максимумом вдень і мінімумом вночі [12].

Поряд з добовими коливаннями відбуваються також і сезонні варіації газового складу повітря.

Концентрація N<sub>2</sub> на висоті 120 км взимку в 1,4 рази перевищує концентрацію літом. На висоті 200 км спостерігається



зворотній сезонний хід концентрації  $N_2$ . Особливо помітним є сезонний хід атомарного кисню. Зимою його концентрація майже у двічі більша ніж літом. Крім того, при зростанні висоти спостерігається зростання відносної кількості атомарного кисню порівняно з молекулярним. На висоті 200 км, наприклад, концентрація атомарного кисню на порядок і більше перевищує концентрацію молекулярного.

Експериментальні дослідження складу атмосфери вище 200 км нечисленні. Але вони дають можливість здобути уявлення про склад концентрацій нейтральних газів верхніх шарів атмосфери. Як показують дослідження за допомогою штучних супутників Землі, атмосфера до висоти 600 км виявляється азотно-кисневою, причому кисень – головним чином атомарний, а азот – здебільшого атомарний. Вище 600 км у газовому складі починає переважати гелій та водень. На рис. 1.2 показано розподіл основних газів атмосфери до 2000 км за Міжнародною довідковою моделлю СКА-72.

Концентрації гелію та водню зменшуються з висотою значно повільніше, ніж більш важких газів. Певно вище 700 км атмосфера стає переважно гелієво-водневою. Отже, головним чином тільки водень та гелій можуть залишати атмосферу Землі.

Всі гази та домішки, які входять до складу атмосфери, можна розбити на п'ять груп [12; 13].

1. Основні газові складові: азот, кисень та аргон; знаходяться в атмосфері приблизно в постійному співвідношенні до висоти 100 км. Ці гази (крім кисню) порівняно інертні в радіаційному та хімічному відношенні.

2. Малі газові складові. В невеликих кількостях постійно присутні в атмосфері, хоча їх концентрація може змінюватись залежно від району. Вони досить активні і можуть брати участь в хімічних реакціях та поглинають інфрачервону радіацію. Тому малі газові складові, особливо такі як озон, діоксид вуглецю, водяна пара відіграють важливу роль у формування клімату планети.

3. Насичені та нестійкі молекули та атоми (в хімії їх іноді називають вільними радикалами). До них відносять атомний кисень, гідроксил  $OH$  пергідроксил  $HO_2$ , оксид хлору  $ClO$  та деякі інші молекули та часточки. Багато таких часточок



утворюється при дисоціації молекул малих газових складових радіацією Сонця (ультрафіолетовою).

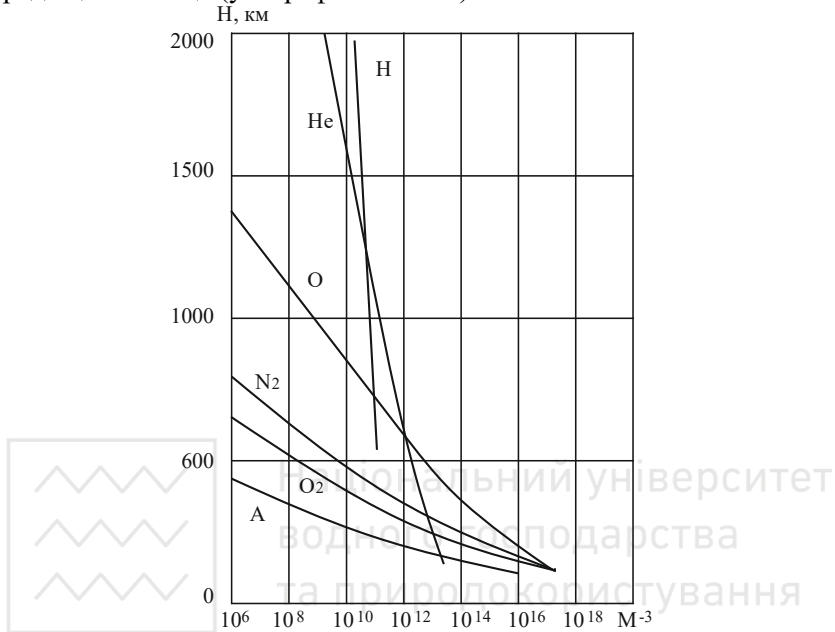


Рис. 1.2. Розподіл основних газів атмосфери до 2000 км за Міжнародною довідковою моделлю СІКА-72

4. Аерозоль – тверді та різкі дрібні часточки, завислі в повітрі, різного складу, розмірів та властивостей (краплі та кристали хмар, пил, піднята з поверхні Землі, а також викинута вулканами (в тому числі в стратосфері), метеорний пил, часточки солей морської води, сажі, цементу та інші). Швидкість їх падіння невелика, а відносна поверхня велика, тому вони можуть брати участь в багатьох хімічних реакціях. Детальніше про аерозолі буде сказано нижче.

5. Антропогенні домішки, що надходять в атмосферу в результаті господарської діяльності людини. Серед цих домішок велике значення має діоксид сірки – продукт спалювання кам'яного вугілля. Газ  $SO_2$  легко окислюється в  $SO_3$  і вимивається з тропосфери у вигляді сірчаної кислоти (кислотні



дощі). Велике значення для хімічних процесів в атмосфері мають хлорфторметани, які руйнуються під дією сонячної радіації, вивільняючи при цьому фтор. Атоми хлору реагують з озоном, руйнують його [13].

При оцінці забруднення повітря важливо враховувати склад чистої атмосфери як газової оболонки Землі. В нижніх шарах, до висоти біля 100 км, атмосфера однорідна за хімічним складом.

Таблиця 1.2

Хімічний склад незабрудненої атмосфери

| Газ              | Відношення суміші за об'ємом | Газ              | Відношення суміші за об'ємом |
|------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|
| N <sub>2</sub>   | 0,781                        | CH <sub>4</sub>  | (1...2)·10 <sup>-6</sup>     |
| O <sub>2</sub>   | 0,209                        | Kr               | 1,14 · 10 <sup>-6</sup>      |
| <sup>40</sup> Ar | 9,34 · 10 <sup>-3</sup>      | H <sub>2</sub>   | (4...10) · 10 <sup>-7</sup>  |
| H <sub>2</sub> O | < 4 · 10 <sup>-2</sup>       | N <sub>2</sub> O | (2...6) · 10 <sup>-7</sup>   |
| CO <sub>2</sub>  | (2...4) · 10 <sup>-4</sup>   | CO               | (1...20) · 10 <sup>-8</sup>  |
| Ne               | 1,82 · 10 <sup>-5</sup>      | Xe               | 8,8 · 10 <sup>-8</sup>       |
| <sup>4</sup> He  | 5,24 · 10 <sup>-6</sup>      | O <sub>3</sub>   | 5 · 10 <sup>-8</sup>         |

**Малі газові складові**

*Озон.* Озон (O<sub>3</sub>) або триатомний кисень відіграє дуже важливу роль у процесах, які відбуваються в атмосфері, не зважаючи на те, що відносна кількість його дуже мала (10<sup>-5</sup>–10<sup>-6</sup>% об'єму атмосфери). Озон спостерігається у шарі атмосфери від земної поверхні до 70 км, але найбільша його кількість відзначається у шарі 20–55 км. Молекула озону має масу 7,97·10<sup>-26</sup> кг.

Загальну кількість озону можна виразити через товщину того шару, який утворив би весь озон атмосфери, якби його зібрати окремо й привести до нормального атмосферного тиску 1013,2 гПа при температурі 0° С. Вона може коливатися від 1 до 6 мм.

*Вуглекислий газ CO<sub>2</sub>.* Дуже важливу роль з точки зору температурного режиму атмосфери відіграє вуглекислий газ CO<sub>2</sub>. Його іноді відносять до основних газів атмосфери, тому що у цілому відхилення концентрації CO<sub>2</sub> від середнього значення незначні. Середні добові варіації CO<sub>2</sub> знаходяться в інтервалі



1-2 млн<sup>-1</sup> (1 млн<sup>-1</sup> концентрації дорівнює одиниці відносного вмісту газу у % по об'єму, збільшеної у 104 рази). Але вуглекислий газ, по-перше, має значні просторові та часові варіації і, по-друге, спостерігається постійне збільшення його концентрації в атмосфері за рахунок промислової діяльності. Тому є підстави для віднесення CO<sub>2</sub> до змінних газових складових атмосфери [14].

Сучасна глобальна фоновая концентрація вуглекислого газу біля земної поверхні дорівнює 334 млн<sup>-1</sup> (0,0334% за об'ємом), а в індустріальних районах вміст CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі може збільшуватися до 500 млн<sup>-1</sup>.

З початку промислової революції за рахунок спалювання вугілля, нафти та природного газу в атмосферу безперервно викидається CO<sub>2</sub> антропогенного походження. Вуглекислий газ при цьому виникає завдяки реакції  $C + O_2 \rightarrow CO_2$ .

*Метан* – CH<sub>4</sub> – газ, має в основному (на 80%) органічне походження. Його концентрація в тропосфері за сучасними оцінками складає біля 1,6 млн<sup>-1</sup> (в південній півкулі на 3% менше, ніж в північній), причому з роками його вміст повільно на 1,2–1,5% в рік зростає. Він добре перемішаний в тропосфері, але вище тропопаузи його вміст швидко зменшується в результаті окислення.

*Оксид вуглецю* CO в атмосфері має як антропогенне, так і органічне походження. В середніх широтах північної півкулі його вміст складає біля 0,25 млн<sup>-1</sup>, в північній півкулі його значно менше, особливо в стратосфері.

Домішки знаходяться в атмосфері в різних *агрегатних станах*.

*Газ* – один із агрегатних станів, в якому його часточки не зв'язані молекулярними силами тяжіння, рухаються вільно, рівномірно заповнюючи наданий їм об'єм.

*Аерозолі* – дисперсні системи, що складаються з твердих та рідких часточок, різних розмірів – від 10<sup>-7</sup>–10<sup>-6</sup> до сотих відсотка сантиметра. Атмосферний аерозоль є продуктом складної сукупності хімічних та фізичних процесів. Внаслідок складності цих процесів його хімічний склад та фізичні характеристики дуже змінюються.



**Водяна пара.** На температурний режим атмосфери впливає і водяна пара ( $H_2O$ ). Водяна пара – це дуже мінлива газова компонента атмосфери, її відносний вміст може змінюватися від 0 до 4%. При визначених умовах водяна пара переходить у рідку або тверду фазу, створюючи в атмосфері систему хмар, тумани тощо. Завдяки таким важливим властивостям, водяна пара привертає дуже велику увагу [15].

Вміст водяної пари в атмосфері визначається за допомогою характеристик вологості повітря або гігрометричних величин. До них відносяться: парціальний тиск абсолютна та відносна вологість повітря, масова частка водяної пари, відношення суміші, точка роси та дефіцити тиску і точки роси.

Крім розглянутих вище газових складових атмосфери, які значно впливають на термічний режим, в ній спостерігаються ще газові домішки, які називаються малими домішками. Малі домішки мають важливе значення для фотохімії атмосфери і мають здатність поглинати інфрачервону радіацію. Проте концентрації їх дуже малі, хоча можуть мати досить помітне значення у великих промислових центрах, оскільки вони викидаються в атмосферу головним чином у процесі промислової діяльності, а також завдяки автотранспорту.



## РОЗДІЛ 2 ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Атмосферне повітря забруднюється різними газами, дрібними часточками і рідкими речовинами, які негативно впливають на живі істоти, погіршуючи умови їх існування.

Під атмосферним забрудненням розуміють присутність у повітрі газів, парів, часток твердих і рідких речовин, тепла коливань, випромінювань, які несприятливо впливають на рослини, тварин, людини, клімат, матеріали, будівлі та споруди.

Джерела забруднення атмосфери розподіляються на природні і штучні (антропогенні) (рис. 2.1).

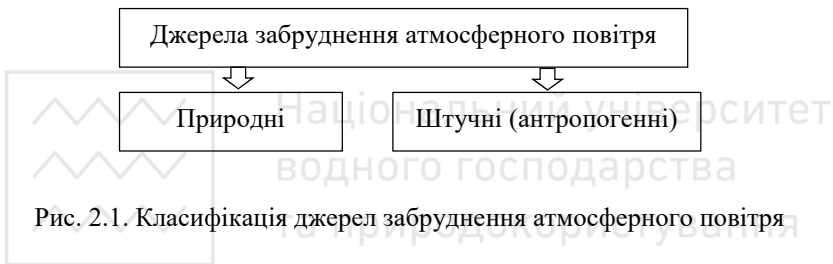


Рис. 2.1. Класифікація джерел забруднення атмосферного повітря

Джерелами природного забруднення є стихійні природні процеси і явища, які викликані природними причинами.

Штучне (антропогенне) забруднення атмосфери відбувається під впливом діяльності людини внаслідок зміни її складу і властивостей [16].

### 2.1. Природні джерела забруднення атмосфери

Домішки *природного походження* надходять в атмосферу в результаті вулканічної діяльності (попіл, пил, вуглеводні та ін.), вивітрювання ґрунтів та гірських порід, лісових пожеж, відмирання рослин, згоряння метеоритів, космічний пил (до 5 млн тонн на рік), пил від ерозії ґрунту, морська сіль та ін. (рис. 2.2).

При процесах гниття та розкладу утворюються, як правило, великі кількості сірководню, аміаку, оксидів азоту.

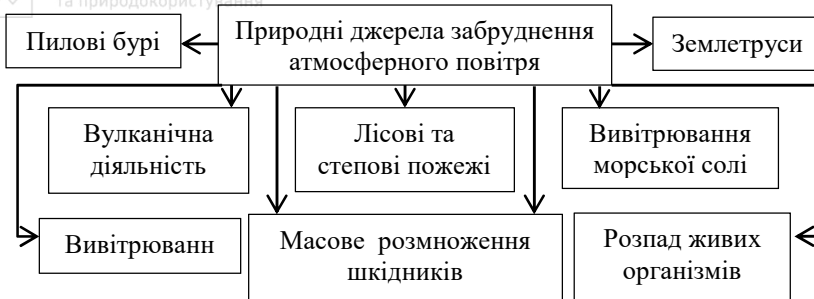


Рис. 2.3. Природні джерела забруднення атмосферного повітря

Багато шкідливих речовин утворюється в результаті вторинних природних процесів [17].

Так, хвойні дерева виділяють ефірні масла, які окислюючись, утворюють нові хімічні елементи. Встановлено, що джерелом синьої димки над лісами є терпени: ізопрен, та ін. В лісах утворюється біля 1000 млн т реакційно здатних вуглеводнів: етилен, ізопрен, а також ненасичені вуглеводні, альдегіди, кислі та лужні речовини.

У нормі природні джерела забруднення не спричинюють істотних змін повітря. Особливу роль відіграє атмосферний пил. Він сприяє конденсації парів води і утворенню опадів.

Інтенсивне поширення певного природного джерела забруднення на певній території (викиди попелу і газів вулканами, лісові і степові пожежі) можуть стати серйозною причиною забруднення атмосфери. Так, під час виверження вулкана Кракатау у 1883 р. маса попелу та пилу становила 150 млрд т, і вони поширилися майже по всій земній кулі.

Внаслідок виверження вулкана на Алясці в 1912 р. в атмосферу надійшло понад 20 млрд т пилу, який тривалий час утримувався в повітрі. Такі катастрофічні явища зумовлюють іноді утворення світлонепроникного екрана навколо Землі, а також зміну її теплового балансу. Проте природні забруднення атмосфери здебільшого не завдають великої шкоди людині, бо відбуваються за певними біологічними законами і регулюються кругообігом речовин, виявляються періодично [18; 19].





## 2.2. Антропогенні джерела забруднення атмосфери

Штучне (антропогенне) забруднення атмосфери відбувається внаслідок зміни її складу та властивостей під впливом діяльності людини. За будовою та характером впливу на атмосферу штучні джерела забруднення умовно поділяють на технічні (пил цементних заводів, дим і сажа від згоряння вугілля) та хімічні (пило- або газоподібні речовини, які можуть вступати в хімічні реакції) (рис. 2.3).

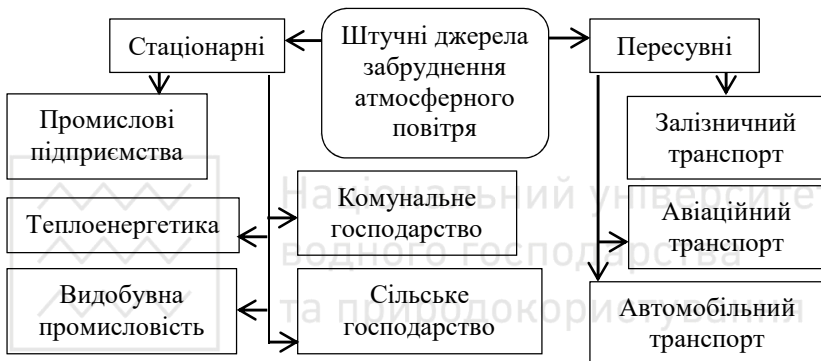


Рис. 2.3. Штучні (антропогенні) джерела забруднення атмосферного повітря

За агрегатним станом усі забруднювальні речовини поділяють на тверді, рідкі та газоподібні. Саме газоподібні забруднювачі складають 90% загальної маси речовин, що надходить в атмосферу [20; 21].

Антропогенні джерела забруднення атмосфери, в свою чергу, поділяються на стаціонарні та пересувні. До стаціонарних джерел належать енергетичні установки, що спалюють викопне паливо, промислові підприємства, та комунально-побутові підприємства. До пересувних належать всі види транспорту. Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел та автомобільного транспорту наведена на рис. 2.4 [22; 23; 24].



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Рис. 2.4. Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел та автомобільного транспорту, тис. тон

Протягом останніх років спостерігається зменшення об'ємів викидів, що пояснюється спадом виробництва.

Промислові джерела забруднення атмосферного повітря поділяються на *джерела виділення та джерела викидів*. До перших відносяться технологічні пристрої (апарати, установки та ін.), в процесі експлуатації яких виділяються домішки. До других – труби, вентиляційні шахти, аераційні ліхтарі, за допомогою яких домішки надходять в атмосферу. Промислові викиди поділяються на *організовані та неорганізовані*. Організований промисловий викид надходить в атмосферу через спеціально споруджені газовідводи, та труби, що дозволяє застосовувати для очистки від забруднюючих речовин відповідні установки. Неорганізований промисловий викид надходить в атмосферу у вигляді ненаправлених потоків газу в результаті порушень герметичності обладнання, відсутності, або незадовільної роботи обладнання видалення газу в місцях завантаження, вивантаження або зберігання продукту. Неорганізовані викиди характерні для очисних споруд,



золовідвалів, ділянок вантажно-розвантажувальних робіт та інших об'єктів.

До основних джерел промислового забруднення атмосферного повітря відносяться підприємства енергетики, металургії, будматеріалів, хімічної та нафтопереробної промисловості, виробництва добрив. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення за видами економічної діяльності у 2018 році у відсотках наведено на рис. 2.5 [24].



Рис. 2.5. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення за видами економічної діяльності у 2018 році у відсотках

В енергетиці основним джерелом забруднення атмосферного повітря є теплові електростанції, що використовують до 80% всього добутого палива. ТЕЦ в атмосферу надходять летюча зола і частки недогарків палива, сірчаний і сірчистий ангідрид, окисли азоту і газоподібні продукти неповно згорання. У золі окремих видів палива містяться миш'як, вільний двоокис кремнію, кальцію і таке ін.

Від ТЕЦ, що працюють на вугіллі, в повітря надходять також природні радіонукліди, які містяться у вугіллі: радій, калій, паладій та ін. Крім того, будівництво крупної ТЕЦ



потребує відмежування 2–3 км<sup>2</sup> земельної площі, не враховуючи територію під золовідвали і водосховища-охолоджувачі.

Останні займану територію під ТЕЦ збільшують ще на 50%, що в кінцевому рахунку веде до зміни рельєфу, порушення поверхневого стоку і хімічної структури ґрунту.

При спалюванні палива в найбільших кількостях виділяються сполуки азоту, попіл та діоксид сірки. Крім того, в процесі спалювання споживається велика кількість кисню. Прості розрахунки показують, що 8 млрд т викопного органічного палива, яке щороку спалюється на планеті, містить 75% вуглецю та 10% водню, які вимагають для їх окислення відповідно 16 та 6,4 млрд т кисню.

Від підприємств нафтопереробної та нафтохімічної промисловості в повітря у великих кількостях надходять вуглеводні, діоксид сірки, оксиди азоту, сірководень, аміак, хлор, фенол, формальдегід, ацетон, бензол, толуол та інші речовини [22; 23; 24].

В металургії чорні та кольорові метали, як правило, виробляються з оксидних та сульфідних руд. В доменних процесах як відновник використовується металургійний кокс, що отримується з кам'яного вугілля. В процесі коксування в атмосферне повітря надходить аміак, феноли та інші речовини. Застосування різних видів палива в металургійних процесах призводить до утворення газоподібних відходів, аналогічних тим, що утворюються при спалюванні палива. Підприємства чорної металургії в атмосферне повітря викидають оксид вуглецю, пил, діоксид сірки, оксиди азоту, феноли, аміак, вуглеводні, сірководень, соляну та сірчану кислоти, хлор та інші речовини.

Підприємства хімічної промисловості, що виробляють більш як 70 тис. Найменувань різних виробів, викидають в атмосферне повітря великий набір шкідливих речовин, в тому числі діоксид сірки, оксиди азоту, пил, аміак, сірководень, сірковуглець, хлористі та фтористі сполуки, оксиди кремнію та кальцію, металоорганічні сполуки, формальдегід [22; 23; 24].



Підприємства целюлозно-паперової промисловості викидають в атмосферне повітря сірководень, сірковуглець, феноли, меркаптани, хлор, формальдегід, метанол та інші речовини.

Машинобудівельні підприємства в атмосферне повітря викидають пилю, оксид вуглецю, оксиди азоту, різні кислоти та луки, ціаністи та інші сполуки.

До основних джерел забруднення атмосферного повітря підприємствами промислового комплексу відносяться ливарні, гальванічні та фарбувальні виробництва.

З ливарних цехів в повітря надходить пилю, фенол, формальдегід, метанол, утворюються ароматичні вуглеводні (ПАУ), оксид вуглецю та інші домішки, що визначаються складом використаних компонентів; від гальванічних виробництв – оксиди та іони металів (мідь, нікель, хром та ін.), з фарбувальних цехів – фарбувальний аерозоль, пари розчинників (толуол, ксилол, сольвент, хлорбензол, дихлоретан, спирти, ацетати, уайт-спірит та інші), складники органічних та неорганічних наповнювачів (солі та оксиди титану, цинку, свинцю, хрому та інших металів), а також складові утворюючих речовин (стирол, формальдегід та ін.) [25].

### **2.3. Забруднення повітря пересувними джерелами**

У великих містах до числа основних джерел забруднення атмосферного повітря відноситься автотранспорт. Вихлопні гази двигунів містять суміш із більш як двохсот компонентів, серед яких немало канцерогенів (табл. 2.1). Динаміка викидів окремих забруднюючих речовин у атмосферне повітря від автомобільного транспорту наведена в табл. 2.2.

Шкідливі речовини при експлуатації пересувних транспортних засобів надходять в повітря з відпрацьованими газами, випаровуваннями з паливних систем та при заправці, а також з картерними газами. На викиди оксиду вуглецю значно впливають рельєф дороги та режим руху автомашини. Так, наприклад, при прискоренні та гальмуванні у відпрацьованих газах збільшується вміст оксиду вуглецю майже у 8 разів.



Мінімальний вміст оксиду вуглецю виділяється при рівномірному русі автомобіля зі швидкістю 60 км/год [26].

Таблиця 2.1

Основні складові вихлопних газів двигунів

| Режим роботи двигуна    | Оксид вуглецю,<br>% за об'ємом | Вуглеводні,<br>мг/л | Оксиди<br>азоту, мг/л |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Холостий хід            | 4–12                           | 2–6                 | -                     |
| Примусовий холостий хід | 2–4                            | 8–12                | -                     |
| Середні навантаження    | 0–1                            | 0,8–1,5             | 2,5–4,0               |
| Повні навантаження      | 2–4                            | 0,7–0,8             | 4–8                   |

Таблиця 2.2

Динаміка викидів окремих забруднюючих речовин у атмосферне повітря від автомобільного транспорту, тис. тонн

| Забруднююча речовина               | 2010   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Діоксид сірки                      | 19,8   | 16,3   | 16,6   | 16,9   | 17,6   |
| Оксид вуглецю                      | 1782,7 | 1092,0 | 1071,2 | 1045,1 | 1016,8 |
| Діоксид азоту                      | 206,1  | 152,9  | 152,6  | 153,8  | 156,9  |
| Оксид азоту                        | 1,3    | 0,8    | 0,8    | 0,8    | 0,8    |
| Неметанові леткі органічні сполуки | 272,4  | 157,6  | 152,0  | 145,1  | 137,6  |
| Аміак                              | 0,018  | 0,009  | 0,009  | 0,008  | 0,007  |
| Метан                              | 7,6    | 4,7    | 4,7    | 4,6    | 4,5    |
| Сажа                               | 23,8   | 21,6   | 22,1   | 22,8   | 24,1   |

Склад та об'єми викиду залежать також від типу двигуна (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Об'єми викидів основних забруднюючих речовин за типами двигунів

| Речовина      | Двигун                   |                          |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
|               | Карбюраторний            | Дизельний                |
| Оксид вуглецю | 0,5–12,0                 | 0,01–0,5                 |
| Оксиди азоту  | 0,005–0,8                | 0,002–0,5                |
| Вуглеводні    | 0,2–0,3                  | 0,009–0,5                |
| Бенз(а)пірен  | До 20 мкг/м <sup>3</sup> | До 10 мкг/м <sup>3</sup> |



Як видно з табл. 2.2, викиди основних забруднюючих речовин суттєво нижчі у дизельних двигунів. Тому вони вважаються більш екологічно безпечними, Але дизельні двигуни викидають більшу кількість сажі, що утворюється після перевантаження і поганого регулювання двигуна та системи подачі палива. Сажа насичена канцерогенними вуглеводнями та мікроелементами; їх викиди в атмосферу недопустимі.

Тому що відпрацьовані гази автомобілів надходять безпосередньо в нижні шари атмосфери, а процес їх розсіювання значно відрізняється від процесу розсіювання викидів високих стаціонарних джерел, шкідливі речовини знаходяться практично в зоні дихання людини. Тому автомобільний транспорт слід віднести до категорії найбільш небезпечних джерел забруднення атмосферного повітря поблизу автомагістралей.

#### **2.4. Інші джерела забруднення атмосферного повітря**

В районах розвинутого сільськогосподарського виробництва найбільшу небезпеку містять засоби захисту рослин, тільки 10% яких при розпиленні досягають мети, тобто попадають на рослини; інші розносяться вітром та забруднюють атмосферу, ґрунти та водойми.

Значними джерелами забруднення атмосферного повітря стали великі тваринницькі ферми та птахофабрики. Основними шкідливими речовинами, що викидають ці підприємства, є аміак та його похідні, сірководень, оксиди азоту, пахучі речовини (індол, скатол та ін.)

До антропогенного забруднення повітря, крім описаних вище, відноситься також радіоактивне та теплове забруднення.

Радіоактивне забруднення атмосфери обумовлено як процесами, що відбуваються в природному середовищі, так і діяльністю людини. Природні радіоактивні елементи, що надходять в атмосферне повітря, утворюються як внаслідок радіоактивного розпаду урану, торію, актинію, що містяться в



гірських породах, так і при взаємодії космічного випромінювання в стратосфері з ядрами атомів хімічних елементів. Виявлені в стратосферному повітрі радон ( $^{222}\text{Rn}$ ), торон ( $^{220}\text{Tn}$ ) та актинон ( $^{219}\text{An}$ ) є продуктами розпаду трьох радіоактивних рядів таблиці елементів Менделєєва: урану ( $^{238}\text{U}$ ), торію ( $^{232}\text{Th}$ ) та актиноурану ( $^{235}\text{AcU}$ ). В результаті дифузії та обміну продукти радіоактивного розпаду з ґрунтовим повітрям надходять в атмосферу. Слід відмітити, що всі природні елементи, атомні номери яких більше 83 (вісмут), – радіоактивні.

Щорічно в світі добувається біля  $10^{11}$  т породи, що містить природні радіоактивні елементи. До 70% радіоактивних речовин залишається у відвалах, звідки вітром вони розносяться на великі віддалі. У великих кількостях радіоактивні речовини попадають в атмосферу при спалюванні органічного палива, внесенні в ґрунт добрив та вивітрювання з нього.

До стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря радіоактивними речовинами відносяться підприємства з переробки ядерних матеріалів та атомні електростанції, а до пересувних – транспортні засоби (кораблі, ракети). Атомні електростанції у випадку аварії можуть призвести до забруднення атмосферного повітря стронцієм-90, цезієм-137, тритієм, вуглецем-14, йодом-129, криптоном-85 та іншими радіоактивними елементами. Вірогідність виникнення аварії при будівництві та експлуатації атомних електростанцій мала, а небезпека при виникненні аварії надзвичайно велика. Тому при проектуванні, будівництві атомних електростанцій повинні дотримуватись всіх вимог безпеки, що передбачені відповідними нормативними документами.

Небезпека дії радіоактивних елементів зменшується в часі і залежить від періоду піврозпаду ізотопу. Період піврозпаду – це проміжок часу, за який число радіоактивних атомів зменшується вдвічі. Так, потужність випромінювання після





одного періоду скорочується в два рази, після двох – в 4, а після десяти періодів піврозпаду буде складати менше 0,1%.

Найбільшу небезпеку складають ізотопи з великим періодом піврозпаду, так як вони можуть довше діяти на живі організми. Короткоживучі ізотопи швидко розпадаються і стають безпечними, навіть не досягаючи об'єкту дії. Довгоживучі ізотопи, наприклад  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ , періоди піврозпаду яких складають відповідно 30 та 26 років, більш небезпечні.

Забруднюючі речовини за їх дією на організм людини поділяються на фізичні та хімічні.

До фізичних відносяться: радіоактивні елементи, що є джерелами випромінюючої радіації; теплове забруднення (підвищення температури); шуми, вібрації (інфразвук) та низькочастотні вібрації.

До хімічних відносяться: гази вуглеводнів та рідкі вуглеводні, миючі засоби, пластмаси, пестициди та інші синтетичні речовини, похідні азоту, важкі метали, з'єднання фтору, тверді домішки, органічні речовини.

За складом домішки, які надходять в атмосферу, поділяються на гази, тверді та рідкі. При цьому на долю газів (оксид вуглецю, діоксид та інші похідні сірки, оксиди азоту, органічні сполуки) припадає біля 90%, а на долю твердих (пил, важкі метали, радіоактивні речовини) біля 10%, а маса рідких домішок мала в порівнянні з масою газоподібних домішок. Слід зауважити, що тверді домішки завжди містять в собі воду, якої тим більше, чим більша відносна вологість повітря.

Оксиди вуглецю надходять в атмосферу у двох формах – у вигляді вуглекислого та чадного газів.

Вуглекислий газ (діоксид вуглецю) сам не є токсичним і знаходить широке використання у побуті (сухий лід, газована вода, тощо). Його роль в біосфері проявляється головним чином через згадуваний парниковий ефект і в



кінцевому рахунку надмірне надходження вуглекислого газу в атмосферу позначається на загальному потеплінні клімату Землі. Щорічно на планеті викидається у повітря до 19–20 млрд т діоксиду вуглецю, основна маса якого утворюється при спалюванні різних видів палива та у процесі хімічного та цементного виробництва.

Чадний газ (оксид вуглецю) є токсичним і його небезпечність посилюється відсутністю кольору та запаху. Він засвоюється гемоглобіном крові і замість кисню переноситься від легень до різних тканини та органів, зумовлюючи кисневе голодування і загибель організму. В цілому від господарської діяльності в атмосферу щорічно надходить близько 300 млн т чадного газу (за даними різних джерел від 30 до 90% загального надходження CO у повітря).

В Україні основними джерелами викидів в атмосферу чадного газу виступають автотранспорт (47%) та підприємства чорної металургії (34%). Близько 8–10% припадає на спалювання вугілля, торфу, дров, стільки ж – на знищення побутових відходів 3–5% – на лісові пожежі.

Вуглеводні, що надходять в атмосферу внаслідок господарської діяльності людини (90–95 млн т на рік), складають незначну частку природних вуглеводневих утворень. Основним антропогенним джерелом надходження вуглеводнів в атмосферу є транспорт (неповне згоряння бензину та дизельного пального). Особливо багато канцерогенних вуглеводнів міститься в гудронах та сажі, що викидається дизельними двигунами та опалювальними системами (бензапірен). Вуглеводні утворюються також при спалюванні вугілля, нафти, побутового сміття, при палінні тютюну. З цієї причини кожні 2–3 години одна людина на мільйон гине від куріння. Для порівняння вкажемо, що в автокатастрофах одна людина гине кожні 2–3 дні, від спиртного кожні 4–5 днів.



Діоксид сірки, або сірчаний газ ( $\text{SO}_2$ ) друга за масою забруднююча речовина. Основна (практично єдина) причина надходження діоксиду сірки в атмосферу – використання людиною викопного палива. Оскільки всі види палива вміщують в собі більшу або меншу частину сірки (сира нафта від 0,1 до 5,5%, вугілля від 0,2–7%, а руди кольорових металів часом вміщують до 45%). Саме тому в Україні основними джерелами сірчистого забруднення атмосфери виступають теплові електростанції (до 70%), а також підприємства чорної та кольорової металургії, вугільної та хімічної промисловості.

Оксиди азоту – третя за масою та значенням газоподібна речовина, що активно забруднює атмосферу. Закисні форми азоту в атмосферу надходять майже виключно від природних джерел. Оксид азоту утворюється головним чином внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів та при горінні.





### РОЗДІЛ 3

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ

Домішки, що надходять в атмосферу від різних джерел, переносяться в ній упорядженими (осередненими за менші або більші інтервали часу) повітряними потоками та поширюються під впливом турбулентного перемішування.

Система повітряних течій в атмосфері досить складна. Як правило, виділяють рух мезосиноптичного та глобального масштабу, горизонтальна протяжність яких не перевищує 100–200, 1000–2000 км та декількох тисяч кілометрів.

Атмосферне повітря перемішується не тільки по горизонталі, але і по вертикалі. Під впливом турбулентного обміну та вертикальних рухів відбувається перенос домішок з одних шарів атмосфери в інші (в тому числі з тропосфери в стратосферу) [27].

Середня протяжність перебування неосілих (легких) домішок в атмосфері складає біля двох років в стратосфері, 1-4 місяці в — у верхній тропосфері та 6-10 діб в нижній тропосфері.

При такому часу існування домішки встигають поширитися на багато тисяч кілометрів від того місця, звідки вони надійшли в атмосферу.

При середній швидкості (приблизно 30–35 м/с) західних потоків, що спостерігаються у верхній тропосфері та нижній стратосфері помірних широт, аерозоль встигає обігнути земну кулю за 1–12 діб. Швидкість руху повітря в меридіанному напрямку значно менше зональної швидкості. Внаслідок цього з однієї широти в іншу, в тому числі з північної півкулі в південну, аерозоль поширюється суттєво повільніше, ніж в зональному напрямку.

Трансграничний перенос промислових викидів визначає забруднення атмосфери на значних відстанях від джерела. Спостереження показують, що домішки, які надходять від різних антропогенних джерел, можуть поширюватись дуже



далеко і суттєво забруднювати довкілля. Наприклад, помітна концентрація  $\text{SO}_2$  у викидах труб висотою 380 м нікелевого заводу в Канаді спостерігалась на віддалі 400 км. Ще помітніше проявляється поширення викидів від сукупності джерел крупних промислових центрів.

В глобальному масштабі віддалі переносу домішок невеликі, але в густонаселених районах вони достатні для того, щоб викиди одних країн наносили збитки сусіднім державам. Відомі випадки ушкодження лісів та сільськогосподарських культур в прикордонних районах ряду країн Європи та Південної Америки промисловими викидами сусідніх держав.

Забруднення атмосфери може бути: *глобальним, регіональним, місцевим, локальним.*

Але чітко розділити ці види забруднення важко, так як атмосферне повітря чітких меж не має. Масштаби забруднення пов'язані з потужністю викидів та характером циркуляції повітряних потоків. Якщо ці два фактори співпадають за часом та напрямом, забруднення атмосферного повітря може бути глобальним, а якщо не співпадають, регіональним, місцевим або локальним [27; 28].

Під *регіональним* забрудненням ми розуміємо забруднення атмосферного повітря на території в сотні кілометрів, яка знаходиться під дією викидів великих промислових підприємств та сільськогосподарських комплексів.

*Місьове* забруднення визначається сукупністю джерел, розташованих на території, що знаходиться в зоні впливу цих джерел.

*Локальне* забруднення може бути обумовлено одним або декількома джерелами викидів, зона впливу яких визначається головним чином зміною швидкості та напрямку вітру.

### **3.1. Вплив температурних інверсій, швидкості вітру, рельєфу та інших чинників на приземні концентрації**

До різкого збільшення концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери приводять несприятливі



метеорологічні умови. Нині встановлено, що між рівнями забруднення атмосферного повітря та кліматичними умовами існує певний зв'язок [29; 30].

На ступінь та інтенсивність забруднення повітряного басейну впливають рельєф місцевості, напрям та швидкість вітру, вологість, кількість, інтенсивність опадів, циркуляція повітряних потоків, інверсії та ін.

Поширення забруднюючих речовин по вертикалі в граничному шарі у значній мірі залежить від стійкості повітря, тобто від температурної стратифікації атмосфери.

Інверсія (або інверсійна стратифікація) – такий стан атмосфери, при якому температура зростає з висотою.

Вільна конвекція обумовлює інтенсивне розсіювання домішок у великому об'ємі, і товщина шару перемішування визначає верхній кордон цього об'єму.

Тому кращі умови розсіювання домішок створюються при сильній нестійкості і добре розвинутому шарі перемішування. Це буває в ясні, сонячні дні, особливо літом. Навпаки, гірші умови для розсіювання виникають при інверсії температури, коли прикордонний шар стійко стратифікований. Турбулентність при цьому подавлена, вертикальні рухи значно ослаблені [31].

Існують деякі винятки із цих загальних закономірностей; про них поговоримо далі. Оскільки явище інверсії є дуже важливим для розсіювання домішок, зупинимось на їх характеристиках та особливостях виникнення.

Згідно визначення, інверсією називається підвищення температури повітря з висотою.

Інверсія виникає, коли повітря охолоджується знизу (як правило під впливом радіаційних факторів) або нагрівається зверху (наприклад, при адіабатичному опусканні), а також коли відбувається адвекція теплого або холодного повітря.

Інверсія при охолодженні. Це явище так званої простої радіаційної інверсії, основною причиною утворення якої є охолодження поверхні землі за рахунок ефективного випромінювання. Така інверсія починається безпосередньо біля земної поверхні і може поширюватись до висот 50–100 м.



Радіаційна інверсія характерна для нижніх шарів повітря в безхмарні ночі при слабкому вітрі. Її інтенсивність та протяжність по вертикалі може бути збільшена відсутністю вітру. Взимку під час полярної ночі у високих широтах інверсія може існувати впродовж декількох тижнів. В атмосфері виникають також і при піднятті інверсії. В цих випадках активними охолоджуючими поверхнями служать вершини хмар або верхні межі забруднених шарів повітря.

Охолодження поверхні за рахунок випаровування також може призвести до утворення приземної інверсії в денний час при ясній погоді. Літні зливи можуть охолодити підстилаючу поверхню за рахунок випаровування створити інверсійний профіль температури.

Інверсія при нагріванні. Атмосферне повітря, опускаючись, надходить в область більш високого тиску, і його температура підвищується. Як правило в антициклонах (область підвищеного тиску) повітря в середній тропосфері (від 0,5 до 5 км) опускається зі швидкістю біля 1 км за добу (тобто від точки А до точки В на рис. 3.1, а ) Якщо це повітря не насичене вологою, то воно буде нагріватись за сухою адіабатою ( $9,8^{\circ}\text{C}$  на 1 км), і тому температура маси повітря, що опускається із вказаною швидкістю, буде зростати на  $10^{\circ}\text{C}$  за добу. Це спричиняє характерний вигин профілю температури (рис. 3.1, б), так що в нижній частині виникає так звана інверсія осідання, основа якої утворює верхній кордон шару перемішування на значній площі. В середній широтах антициклони як правило переміщуються, але можуть знаходитись і в стаціонарному стані протягом 2–3 тижнів. В субтропіках в таких зонах утворюється дуже забруднений підінверсійний шар перемішування з різко вираженими боковими межами. Вид зверху на таку ситуацію добре характеризується терміном «антициклонна імла» [31].

Нагрівання при низхідному русі повітря сприяє виникненню інверсії на підвітряній стороні гір (рис. 3.1, в). Яскравим прикладом є процеси, що відбуваються взимку на підвітряній стороні хребта Роки-Маунт. За рахунок радіаційного



оохолодження над північною частиною північноамериканського континенту формуються дуже холодні маси повітря, які

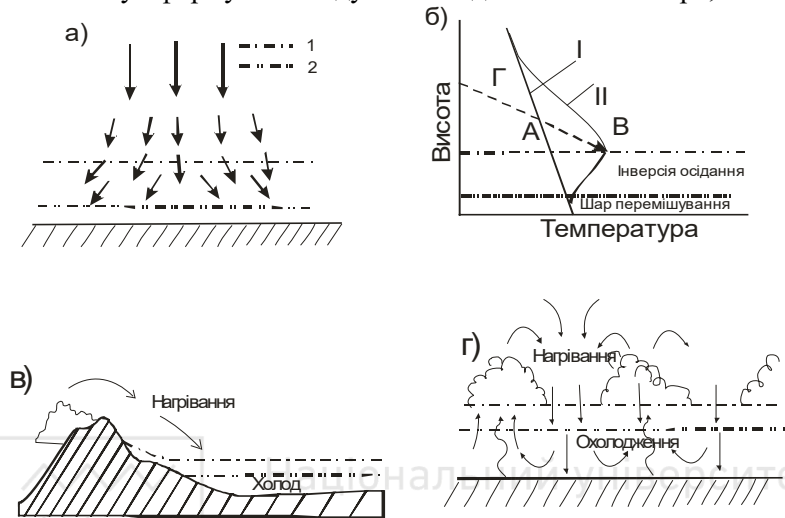


Рис. 3.1. Інверсії, що виникають за рахунок адиабатичного нагрівання при опусканні повітря в антициклоні (а) і (б); на підвітряних схилах (в); в конвективному осередку між купчастими хмарами (г): 1 – верхня межа інверсії; 2 – основні інверсії

заповнюють простір перед гірським хребтом. Тепле низхідне повітря поширюється над цим холодним малорухомих повітрям, створюючи майже непроникне інверсійне покриття для розсіювання домішок вгору.

В області менших масштабів нагрівання при осіданні викликає підмарну інверсію, яка спостерігається влітку опівдні, коли по небу «розкидані» невеликі купчасті хмари. Розподіл цих хмар по небосхилу не випадково, а є видимим проявом існування упорядкованої циркуляції (рис. 3.1, г). В цей час спостерігається відтік тепла та вологи від земної поверхні. Під час підняття вони адиабатично охолоджуються, волога конденсується, утворюючи конвективні хмари. Поки існує підтік свіжого повітря на нижніх рівнях (наприклад, бризова циркуляція), ці висхідні рухи компенсуються опусканням





повітря зверху. Низхідні потоки в міжмарному просторі приносять сухіше повітря з верхніх шарів. Під час осідання воно адиабатично нагрівається, і за рахунок цього створюється шар теплого повітря як раз над рівнем хмар [31; 32].

Інверсія адвективного походження. Фронти, які чітко видно на синоптичних картах, є прикордонними зонами між повітряними масами, які характеризуються різними властивостями. Фронтальна поверхня простягається від рівня землі вгору в атмосферу з дуже невеликим нахилом до земної поверхні. Тепліше повітря (з меншою щільністю) розташовується над більш холодним, тому фронти завжди характеризуються інверсійною стратифікацією. Якщо при переміщенні фронту тепле повітря в даному місці замінюється більш холодним, то фронт називається холодним; (рис. 3.1, а); якщо навпаки – фронт називається теплим (рис. 3.1, б) Через зміщення лінії фронту обумовлена ним інверсія недовго існує в даній місцевості і мало впливає на розсіювання домішок в атмосфері. Ускладнення виникають у випадку теплового фронту, який повільно наближається. Внаслідок малого нахилу фронтальної поверхні (в середньому 0,005) тепле повітря, що знаходиться під нею, розташовується поблизу земної поверхні на великій території. Оскільки фронтальна поверхня нахилена в сторону холодного повітря, її наближення викликає поступове зменшення товщини шару перемішування. Умови поширення домішок стають все менш сприятливими до того часу, поки не пройде фронт. Але навіть і тоді інверсійні умови продовжують існувати в холодному повітрі долини, оскільки натікаючи тепле повітря як би накриває його, створюючи перепони для виносу домішок у вертикальному напрямку [31; 32].

Адвективна інверсія утворюється також при натіканні теплого повітря на холодну підстилаючу поверхню (сніговий покрив, водойма, охолоджена поверхня суші). При цьому відбувається охолодження нижніх шарів повітряних мас, що викликає утворення інверсії, яка починається від рівня землі (рис. 3.2). Вже існуюча інверсійна стратифікація може трансформуватись при натіканні повітряної маси на теплішу поверхню. На рис. 3.2 показані зміни профілю температури по



мірі просування повітря від холодної поверхні озера до більш теплої поверхні суші в полуденні години весною при бризовій

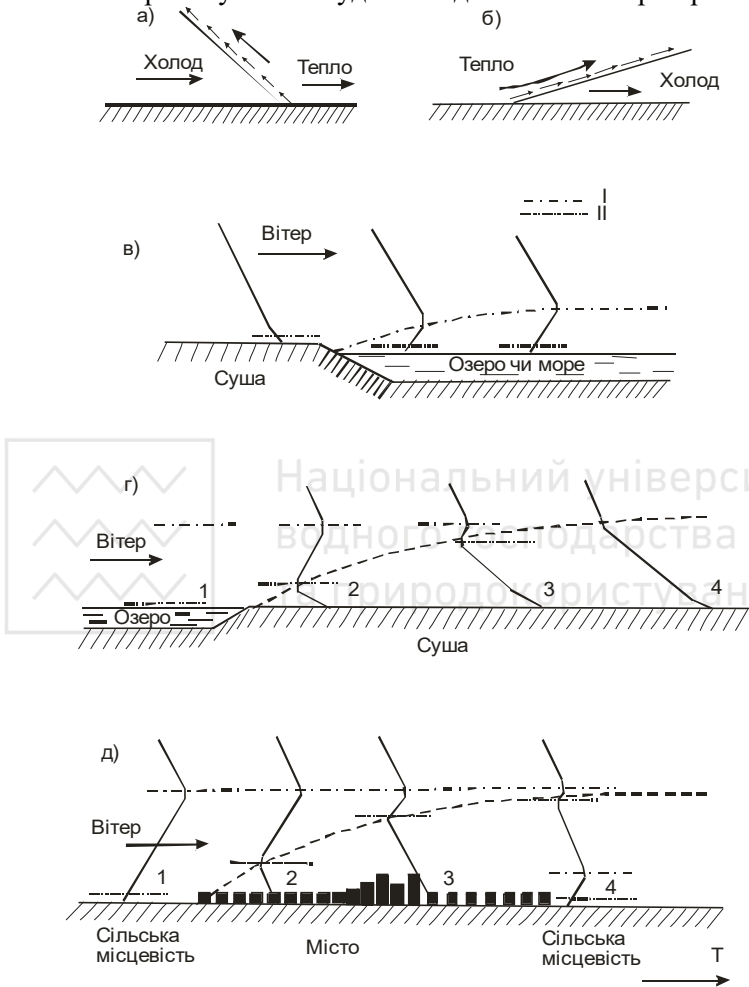


Рис. 3.2. Інверсії, що виникають при адвекції: фронтальні інверсії у випадку холодного (а) і теплої (б) фронтів; приземна інверсія над холодним водним масивом, що виникає при трансформації наддіабатичного профілю температури (в); припіднята інверсія, що утворюється при натіканні стійкого стратифікованого повітря на теплу поверхню на березі озера весною в полуденні години (г) і над містом вночі (д): I – верхня межа інверсії; II – її основа



циркуляції. Профіль 1 відповідає утворенню в нижніх шарах повітря над холодним озером інверсії адвективного походження з характерним для денних умов вертикальним температурним градієнтом у верхніх шарах. По мірі просування вглиб берегової зони прогрів повітря поступово руйнує інверсію знизу і робить її припіднятою (профілі 2 та 3). В результаті інверсія повністю зникає і змінюється нестійким шаром перемішування (профіль 4).

Майже аналогічна ситуація виникає вночі при переносі стійкого повітря з сільської місцевості на теплішу поверхню міста (рис. 3.2, д). В нижній частині прикордонного шару над містом встановлюється нестійка стратифікація (профілі 2 та 3 на рис. 3.2, д), а зверху ще зберігаються залишки первинної інверсії, яка утворилась над сільською місцевістю внаслідок радіаційного охолодження (профіль 1). На підвітряній стороні за містом знову утворюється інверсія (профіль 4), але над нею вже розташовано нестійко стратифікований факел міського повітря, а ще вище – останній слід припіднятої інверсії.

Встановлено, що при наявності інверсії рівень концентрації домішок в приземному шарі буде на 10–60% більший, ніж при її відсутності [31; 32].

Інверсії – явище локального характеру. Тому в місцевості, де планується будівництво будь-якого підприємства, для попередження забруднення приземного шару необхідно проводити метеорологічні дослідження і визначити вірогідність частоти, повторюваності, характеру (приземні чи при піднятті) інверсій, потужність інверсійного шару та висоту його розташування. Відповідно з цими даними повинна вирішуватись висота труб джерел викиду. Основний викид необхідно здійснювати вище інверсійного шару.

Згідно з дослідженнями Головної геофізичної обсерваторії ім. Воейкова до найбільш небезпечних умов забруднення повітря від високих джерел викидів відносяться:

- при піднята інверсія, нижній кордон якої знаходиться над джерелом викидів, збільшуючи максимальну приземну концентрацію на 50–100%;
- штильовий шар, розташований нижче джерела викиду, коли на рівні викиду швидкість руху вітру в 1,5–2 рази перевищує величину швидкості викиду.



Згідно розрахункам, при наявності штильового шару, який розташований на висоті 30 м, максимальна концентрація домішок від джерела висотою 100–150 м збільшується приблизно на 70% в порівнянні з концентрацією при відсутності штилю. Для низьких джерел викидів найбільш несприятливими умовами є поєднання приземної інверсії зі слабким вітром. Особливо небезпечні умови складаються при холодних викидах (наприклад, хімічних підприємств) в сполученні з припіднятою інверсією, яка розташована безпосередньо над джерелом викиду і супроводжується слабким вітром, близьким до штилю.

Важливе значення для розсіювання домішок має вітер: напрям, швидкість, тривалість. Під дією вітру домішки розсіюються як за напрямом руху, так і в результаті турбулентного обміну в поперечному та вертикальному напрямках. Швидкість вітру зростає зі збільшенням перепадів атмосферного тиску. Швидкість руху повітряного потоку біля поверхні землі до висоти до 20 м зменшується внаслідок тертя об шорсткості земної поверхні. Біля поверхні землі швидкість вітру більша вдень, а на деякій висоті – вночі. Багато авторів досліджували залежність приземної концентрації шкідливих домішок від швидкості вітру. На рис. 3.3 розглянуто розсіювання домішок (викиди яких зображені кружками), що надходять з труби з постійною частотою один викид в секунду. Якщо швидкість вітру рівна  $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , віддаль між викидами складає 2 м, а при швидкості  $6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  буде рівною 6 м. Таким чином, чим більша швидкість вітру, тим більший об'єм повітря проходить з місця виходу домішок в одиницю часу і тим менша стає їх концентрація. Це зменшення концентрації відбувається за рахунок розтягування факела домішки по напрямку вітру і безпосередньо пов'язано зі швидкістю повітряного потоку. Це справедливо в основному для низьких джерел викидів. При викидах з високих джерел максимальні приземні концентрації домішок спостерігаються при небезпечних швидкостях вітру в межах 3–6 м/с в залежності від швидкості виходу газоповітряної суміші з джерела викиду [31; 32; 33].

Швидкість вітру визначає також інтенсивність примусової конвекції, яка створюється в прикордонному шарі рухом вітру



та взаємодією повітряного потоку з елементами шорсткості земної поверхні. Більшій швидкості вітру відповідає і більш інтенсивна турбулентність. Цей процес зображено на рис. 3.3, б, на якому показано, як лінійні розміри окремих викидів (кружечки) зростають по мірі віддалення від джерела димішок. Турбулентні пульсації характерні не тільки для швидкості, але і для напрямку, що обумовлено горизонтальним рухом вихрив, які призводять до розмивання факелу димішки в боковому напрямку (по горизонталі та вертикалі).

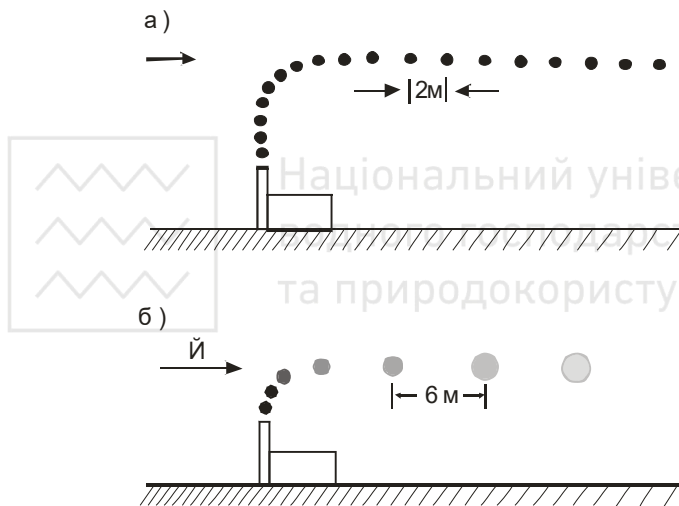


Рис. 3.3. Вплив швидкості вітру  $\dot{y}$  на концентрацію димішок при постійній інтенсивності джерела, що дорівнює одному викиду в секунду  
а)  $\dot{y} = 2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , б)  $\dot{y} = 6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Напрямок вітру також суттєво впливає на перенос димішок. Внаслідок безперервних змін напрямку вітру горизонтальна проекція факелу набуває звивистої форми (рис. 3.4). За період тривалістю більше години ці флуктуації як правило обмежуються сектором  $30\text{--}45^\circ$ , які симетричні відносно середнього напрямку вітру. Розподіл димішок при цьому



аналогічний площі розподілу капель води при поливі шлангом саду.

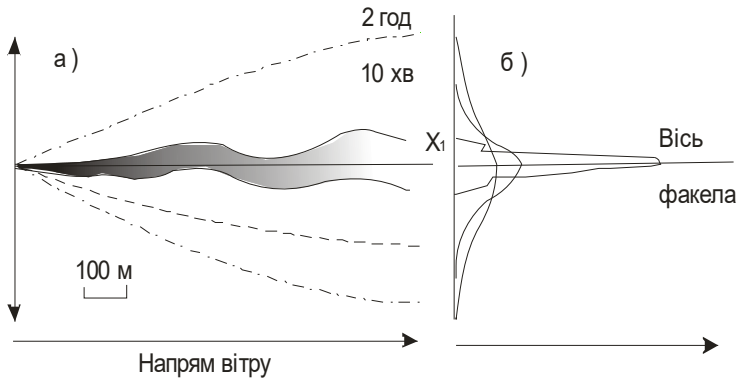


Рис. 3.4. Вид зверху на факел домішок у фіксований момент часу та після осереднення за 10 хвилин і 2 години (а) та розподіл домішок по перерізу факела на різних відстанях від джерела (б)

Вітер обумовлює також перенесення домішок на великі віддалі. При сильних вітрах ці віддалі можуть бути дуже великі, але, оскільки концентрації при цьому значно зменшуються, такий перенос від одинарного джерела не буде мати значних наслідків. Найбільш оптимальні умови для інтенсивного забруднення виникають при слабких вітрах, оскільки впорядкований перенос та турбулентна дифузія ослаблені. На жаль, при слабкому фоновому вітрі найбільш активно проявляються локальні циркуляції повітря, передбачати які з достатньою достовірністю важко. Це ще раз підкреслює необхідність вивчення особливостей місцевого мікроклімату. Проте навіть детальні дослідження даних особливостей до кінця не пояснюють особливостей розсіювання домішок через складність структури поля вітру.

Локальні циркуляції (наприклад, береговий та морський бриз, гірські та міські вітри) не забезпечують хорошої вентиляції місцевості за трьома причинами: по-перше, швидкості вітру невеликі (менше  $7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ), по-друге, ці циркуляції



є замкнутими, по-третє, вони змінюють напрям руху протягом доби. Дві останні особливості означають, що при таких системах вітрів реальний обмін повітря невеликий. Замість заміни забрудненого повітря чистим тут як би відбувається замкнута циркуляція в протилежних напрямках всередині фіксованого об'єму забрудненого повітря. Така циркуляція нагадує рух повітря в закритій кімнаті, яке викликано потужним вентилятором.

Міські термічні вітри, які виникають на великих територіях, особливо небезпечні, тому що в цьому випадку повністю замкнута система циркуляції охоплює площу з великою щільністю джерел домішок. В нижніх шарах атмосфери (на рівні міської забудови) повітряні потоки різних напрямків сходяться в центрі міста, де повітря піднімається, а потім рухаються у зворотному напрямку і опускаються біля межі міста, після чого цикл починається знову [34].

У випадку низьких та холодних викидів при невеликих швидкостях повітря, а також у випадку високих джерел при небезпечній швидкості вітру в приземному шарі повітря можуть спостерігатись підвищені концентрації домішок. Значення небезпечних швидкостей вітру залежать від типу джерела та визначаються за формулою

$$u = 0.65 \sqrt{\frac{V \Delta T}{H}}, \quad (3.1)$$

де  $V$  – об'єм газоповітряної суміші;  $\Delta T$  – різниця температур газоповітряної суміші, що викидається та навколишнього повітря;  $H$  – висота труби (джерела викиду).

Для низьких джерел при швидкостях вітру 0–1 м/с концентрації домішок в приземному шарі будуть на 30–70% більші, ніж при великих швидкостях вітру. При слабких вітрах та стійкій атмосфері (застій) концентрації домішок в приземному шарі повітря можуть різко зростати. У випадку приземних туманів концентрація домішок може зростати на 80–90%. Концентрації домішок пропорційні тривалості або стійкості туману [35].



Опади вимивають домішки з атмосферного повітря. Але вони можуть бути насичені шкідливими речовинами та наносити шкоду таким екологічним системам, як водойми та ґрунти. Наприклад, кислотні опади, попадаючи у водойми, призводять до пригнічення, а частково й до загибелі біоценозів.

Велике значення на рівень забруднення атмосферного повітря має рельєф та пов'язана з ним циркуляція атмосфери. В гірських долинах, коли вітри дмуть вздовж осі долин, на їх краях буде зростати концентрація домішок. Якщо джерело викиду розташовано перед улоговиною, то безпосередньо в улоговині буде зростати концентрація шкідливих речовин, якщо перед перепоною, то концентрація зростає біля підніжжя перепони. В містах можуть виникати зони завихрення. В таких випадках можливий зустрічний рух основному потоку повітря. Така рециркуляція може призвести до підвищення концентрацій домішок. Надходження чистого повітря з окраїн міста до центру призводить до зниження концентрацій домішок, так як з цим потоком, що нагрівається в процесі руху по території міста до центру, домішки захоплюються та виносяться у верхні шари атмосфери.





## РОЗДІЛ 4

### НАСЛІДКИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

*Світова економіка* щодня втрачає \$8 млрд через забруднення повітря від горіння викопного палива. Це \$2,9 трлн, або майже 3,3% світового ВВП. Про це йдеться у звіті міжнародної екологічної організації Greenpeace.

Найвищі річні втрати, пов'язані із забрудненням повітря від спалювання викопного палива, несуть економіки Китаю (\$900 млрд, без урахування Гонконгу і Макао), США (\$600 млрд) і Індії (\$150 млрд). За ними йдуть Німеччина з \$140 млрд на рік та Японія – \$130 млрд.

Клімат Землі, що залежить в основному від стану її атмосфери, протягом геологічної історії періодично змінювався: чергувалися епохи істотного похолодання, коли значні території суші вкривалися льодовиками, й епохи потепління [36]. Та останнім часом учені-метеорологи б'ють на сполох: сьогодні атмосфера Землі розігрівається набагато швидше, ніж будь-коли в минулому. І це зумовлено діяльністю людини:

- по-перше, людина підігріває атмосферу, спалюючи велику кількість вугілля, нафти, газу, а також уводячи в дію атомні електростанції;

- по-друге, і це головне, в результаті спалювання органічного палива, а також унаслідок знищення лісів у атмосфері нагромаджується вуглекислий газ.

Такий вплив людини на атмосферу зумовлює ряд негативних явищ, що поступово руйнують первинний стан атмосфери та негативно діють на живі організми. Це такі явища як: озонові діри, парниковий ефект, кислотні дощі та ін..

*Озонові діри* являють собою явище низької концентрації озону в стратосфері, яка знаходиться у верхній атмосфері землі на висоті від 10 до 50 км, де присутній шар підвищеної концентрації озону, званий озоносферою. Озонові діри розташовуються, в основному, в полярних регіонах, таких, як Антарктида. А останнім часом спостерігається в районі Південної Аргентини і Чилі. За даними щорічно проведених



досліджень, в цих областях вміст озону зменшується приблизно на три відсотки в рік. В даний час виснаження озонового шару складає близько 50% від початкового стану. Освіта озонової діри пов'язують з господарською діяльністю людини і його постійним втручанням у навколишнє середовище. Озон є природним фільтром, який забезпечує захист Землі від ультрафіолетового випромінювання.

Образну назву «парниковий ефект» одержало природне явище суть якого полягає в тому, що атмосфера затримує теплове випромінювання яке йде від земної поверхні (подібно до плівки над городнім парником). Енергія, що надходить на нашу планету від Сонця, визначає хід усіх біологічних процесів на Землі. Із загальної кількості цієї енергії 20% поглинається атмосферою, 34% відбивається хмарами і земною поверхнею й повертається у космос 46% енергії доходять до земної поверхні й нагрівають її. Нагріта земля у свою чергу випромінює довгохвильову інфрачервону (теплову) радіацію, що частково йде в космос, а частково залишається в атмосфері, затримуючись газами, що входять до її складу, і нагріваючи приземні шари повітря. Гази, що затримують теплове випромінювання і перешкоджають витіканню тепла в космічний простір, називаються парниковими газами.

Завдяки парниковому ефекту середньорічна температура біля поверхні Землі за останнє тисячоліття складає приблизно 15° С. А без нього вона опустилася б до -18° С, й існування життя на Землі стало б неможливим.

У наш час велике занепокоєння викликає можливість того, що внаслідок людської діяльності парниковий ефект може сильно збільшитися й призвести до глобального потепління. У результаті спалювання викопного палива і лісових пожеж створюється велика кількість двоокису вуглецю, метан є супутнім продуктом сільського господарства (рис, худоба, вівці). Випари води також є перешкодою для відбитих сонячних променів. Програма ООН з навколишнього середовища прогнозує, що можливе підвищення середньої температури Землі на 1,5° С до 2025 року, що викличе підняття рівня світового океану на 25 см через танення льоду біля полюсів.



З метою попередження ускладнення ситуації, міжнародною спільнотою, у м. Парижі 12 грудня 2015 року на Двадцять першій Конференції Сторін Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату було прийнято Паризьку угоду. Цим самим країни-підписанти погодилися втримувати рівень глобального потепління на рівні, нижчому за 2° С. Також вони зобов'язались докласти усіх зусиль для обмеження підняття температури до 1,5° С до кінця століття.

Україна також ратифікувала Паризьку угоду (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2016, № 35, ст. 595).

Головна особливість Паризької угоди, що вона не примушує країни ні до чого конкретного. Країни, що її підписали, визнали загрозу зміни клімату і погодилися їй протидіяти. Як саме протидіяти – кожна країна визначає самостійно. Перед підписанням Паризької угоди, сторони угоди мали визначити так звані Національно-визначені внески (НВВ або ж NDC – Nationally determined contribution), у яких визначали, на скільки вони планують знизити парникові викиди. Оскільки презентовані НВВ не відповідали цілям Паризької угоди, та призвели б підвищення глобальної температури на +3°С, країни заявили про перегляд своїх внесків. Остаточні НВВ будуть презентовані на COP26 наприкінці 2020 року – в рік, коли Паризька угода вступить у силу.

Саме цей механізм і відрізняє Паризьку угоду від Кіотського протоколу: замість накладання зобов'язань, угода дозволяє кожній країні самостійно оцінити свою здатність скоротити викиди та прийняти таку мету, яка буде і реалістичною, і амбітною.

Угода також не передбачає механізмів, які би примушували сторони її дотримуватися. Виконання зобов'язань залежить від політичної волі та совісті керівників країн. Однак існує «некаральний» комітет, який оцінює внески країн та виступає зі щорічною доповіддю. Крім того, НВВ кожної країни має переглядатися що п'ять років, в ідеалі – у бік більш амбітного.



*Кислотні дощі*, які утворюються внаслідок взаємодії атмосферної вологи з продуктами неповного згорання палива на ТЕЦ, промислових підприємствах, в автомобільних двигунах становлять велику загрозу. Сірчана й азотна кислоти у вигляді дрібних краплин переносяться на величезні відстані і випадають кислотними дощами. Наслідки цього надзвичайно тяжкі: гинуть ліси, комахи, тварини, руйнуються будівлі, виводяться із сівозміни ґрунти. При цьому знижується врожайність більшості сільськогосподарських культур внаслідок ушкодження листя кислотами; вимиваються з ґрунту кальцій, калій і магній, що викликає деградацію фауни та флори; отруюється вода озер і ставків, де гине риба й зникають птахи; зникають водоплавні птахи і тварини, що харчуються комахами; гинуть ліси в гірських районах, що викликає зсуви й селеві потоки; збільшується кількість захворювань серед населення (подрознення очей, хвороби дихальних шляхів тощо).

Постійне збільшення кількості спалюваного органічного палива призводить до підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосферному повітрі. В 1860 році його вміст становив 0,027%, на початку XX ст. – 0,029%, а сьогодні – 0,034%. Прогнози показують, що до середини XXI ст. його вміст подвоїться» Це призведе до різкого посилення парникового ефекту. Моделювання на ЕОМ показало, що до цього часу середня температура на планеті підвищиться на 2–4° С, у помірних широтах – на 10–15° С, і в Арктиці – на 15–20° С. У Львові середня температура січня -5° С буде сягати +5 - +10° С, липня – +18° С і навіть може зрости до +28 - +33° С [36].

Виникають ще дві не менш небезпечні проблеми: потепління в Арктиці і Антарктиці призведе до швидкого танення льодовиків. Якщо їхній об'єм зменшиться на 50%, то рівень Світового океану підніметься на 25–35 м. Багато прибережних міст буде затоплено водою. Зміна клімату буде супроводжуватися зміною погодних умов, які навіть важко передбачити. Справжнім екологічним катаклізмом на планеті є посуха в Африці, де пустеля наступає на савану зі швидкістю 50 км на рік замість 1 км на рік в минулому.



#### 4.1. Антропогенні зміни клімату міст

Вже при виникненні перших міст в давньому світі люди помітили, що міське повітря відрізняється від сільського. Не дивлячись на те, що на протязі віків джерела забруднення змінювались, символом міської атмосфери до цього часу є забруднене повітря.

Так, в першому в.н.е. відомий римський філософ Сенека писав: «Я відчув зміну настрою, як тільки покинув зловонне повітря Риму, що насичене вонючими димними пічками, які викидають страшний чад та сажу». Починаючи з середніх віків таку ж славу отримав Лондон. В 1273 році в Англії був виданий указ, який забороняв спалювати вугілля в печах.

В теперішній час над кожним містом з населенням в декілька сотень тисяч і більше чоловік під впливом антропогенних викидів сформувалась хмара («шапка») домішок у вигляді густого диму, що покриває місто (це видно із космосу). Хмара ця висотою від декількох сотень метрів до 1–2 км. Наведемо ще один цікавий факт. Як відомо, з борта космічних кораблів такі об'єкти як дороги, річки, поля та інші, видно навіть краще, ніж з малих та середніх висот (один американський астронавт написав, що з космосу прочитав навіть номер автомашини, що стояла в сільській місцевості). Пояснюється це тим, що на великих висотах відсутнє розсіяне світло, яке на малих та середніх висотах, надходячи в око спостерігача, зменшує контраст між об'єктом та фоном. З цієї ж причини з шахти або глибокого колодязя вдень можна бачити зорі. Але жодний космонавт не спостерігав з космосу будь-які об'єкти (і навіть вулиці) у великому місті – все покриває хмара, що звисає над містом, (що складається переважно з домішок) і яка має на фотографії вигляд розмитої плями [37].

*Явище «острів тепла».* Острів тепла є відображенням суми мікрокліматичних змін, пов'язаних з антропогенними перетвореннями міської поверхні.

Навіть ізольований комплекс будинків створює мікроклімат, відмінний від того, який був би на цій місцевості в її природному стані. Міські та оточуючі їх сільські регіони



відрізняються один від одного різною структурою земної поверхні. Якісно ця відмінність проявляється в тому, що природний або сільськогосподарський ландшафт характеризується наявністю рослинності та пористого ґрунту. На противагу цьому підстилаюча поверхня в межах міста щільна і не має пористої структури. Відомо, що теплофізичні характеристики цих двох типів підстилаючої поверхні, такі, як теплоємність та теплопровідність, різні. Асфальтове покриття вулиць та стіни будинків вдень поглинають деяку кількість тепла, а вночі віддають його довкіллю. Природні процеси ще більше змінюються в умовах міста із-за малого випаровування. Сонячна енергія, яка витрачається в сільській місцевості вранці на випаровуванні роси, вегетацію рослин та інше, в місті безпосередньо поглинається будинками. Евапотранспірація в місті також значно менша, так як рослинний покрив незначний. Швидке видалення опадів робить неможливим створення запасів вологи в ґрунті і, як наслідок, випаровування з неї. Забруднюючі речовини, що потрапляють з різних джерел в повітряний басейн міста в сполученні з зміною властивостей земної поверхні (шорсткість, теплопровідність, альbedo та ін.) та безпосереднім виділенням тепла впливають на мікро- та мезокліматичний режим міста та його околиць. Під впливом цих факторів в містах відбулися відповідні зміни в полях температури та вологості повітря, швидкості вітру, радіації, кількості опадів, умов формування хмар та туманів та ін. [37; 38].

Відмінність температури повітря в місті від температури в його околицях, напевно, вперше відмітив в 1820 році англійський вчений Люк Хоуард, який написав першу книгу про клімат міста. За даними спостережень за 1807–1816 роках він встановив, що різниця середніх місячних температур повітря ( $\Delta T$ ) в Лондоні та його передмістях коливається між  $1,2^{\circ}\text{C}$  (листопад; близькі значення у вересні та січні) та  $0,27^{\circ}\text{C}$  (травень). Найбільш значна ця різниця вночі (біля  $2^{\circ}\text{C}$ ), а вдень, за даними Хоуарда, в місті приблизно на  $0,2^{\circ}\text{C}$  холодніше, ніж в околицях [38].



Для іншої європейської столиці – Парижа – дані про термічний режим були опубліковані тільки в 1868 році. Рено писав: «...в цій димній аміачній атмосфері температура повітря повинна бути вище, ніж в селах, що оточують Париж». За його даними середнє значення  $\Delta T$  близьке до  $1^\circ \text{C}$ . Рено вперше відмітив, що «... міста послаблюють коливання температури, особливо дуже різкі. Цей ефект краще всього видно під час вечірнього похолодання в ясну спокійну погоду, особливо при димці, що частіше покриває міста, ніж села». Це надзвичайно важливе зауваження, оскільки воно вказує на основний фактор формування різниці  $\Delta T$  – відмінність в радіаційних втратах тепла земною поверхнею в місті та в околицях. Цікава вказівка Рено на те, що в сільській місцевості число днів з температурою нижче нуля на 40% більше, ніж в околицях Парижа.

*Причини утворення „острова тепла».* З останні 100 років метеорологічний та кліматичний режим багатьох міст досліджено досить добре (на підставі щоденних спостережень на станціях, телебаштах; шляхом проведення спеціальних зйомок, вимірювань з літаків, супутників та ін.). Наведемо деякі найбільш суттєві результати.

Практично у всіх містах спостерігається тенденція до підвищення температури.

Дані досліджень заперечують поширену думку про те, що основну роль в підвищенні температури повітря міст відіграють антропогенні викиди тепла. Не дивлячись на те, що ці викиди в опалювальний сезон (взимку) набагато більше тренд зимових температур суттєво менше літніх.

В Японії тренд температури за 30-річний період (1936–1965 роки) склав  $0,03^\circ \text{C}$  за рік в трьох найбільш швидко зростаючих містах і  $0,01^\circ \text{C/рік}$  в трьох невеликих містах. За даними спостережень в п'яти містах США за період 1895–1955 роки тренд температури також додатний. Але слід підкреслити, що зростання різниці температур суттєво відрізняється в різні сезони року, а саме *влітку тренд суттєво* (в 2–3 рази) *вищий*, ніж взимку. Так, в Клівленді (штат Огайо) температура за період 1895–1941 роки збільшилась на



0,028° C/рік влітку і тільки на 0,010° C/рік взимку; в Бостоні (штат Масачусетс) в 1895–1933 роки – на 0,026° C за рік влітку та 0,016° C/рік взимку; у Вашингтоні (штат Вірджинія) відповідно на 0,024 та 0,017° C/рік і на незначну величину взимку.

Ці дані, а також ті, які ми наведемо нижче, свідчать про те, що у формуванні «острова тепла» основну роль відіграють не антропогенні викиди тепла, а геофізичні фактори.

Зупинимося на аналізі температур повітря в місті  $T$  та його околиць.  $T_{ок}$ , а також різниці  $\Delta T = T_m - T_{ок}$  цих температур в одному з найбільш повно обстежених міст – Києві та Харкові. За багаторічними даними температура середньодобова, максимальна та мінімальна, середня за рік в м. Київ на кілька градусів (1–3° C) вище в центрі міста, ніж на околицях – через щільну забудову, рельєф місцевості «спальних» мікрорайонів, розташованих на рівнинах і через видування вітрами тепла між висотними будинками.

*Температурні контрасти* яскравіше всього проявляються у вечірні години, безпосередньо перед заходом сонця та в передсвітанкові години. Згідно з даними досліджень, найбільших значень  $\Delta T$  досягає вночі та в ранкові години, а найменших – вдень. Добова амплітуда  $\Delta T$  досить велика (більше 2° C) влітку та суттєво менша (0,5–1,0° C) взимку. Ці дані підтверджують висновок про другорядну роль прямих викидів тепла в формуванні різниці  $\Delta T$ : оскільки промисловість та особливо транспорт виділяють тепла вдень значно більше, ніж вночі. Дані досліджень показують, що вночі різниця температур досягає 2–3° C, а вдень 0–1° C.

Інверсійна стратифікація (температура в деякому шарі зростає з висотою) особливо сильно послаблює турбулентний обмін і, як наслідок, перенос забруднюючих речовин від земної поверхні в більш високі шари атмосфери. З цієї причини при утворенні інверсій, домішки, що надходять з наземних джерел, зберігаються поблизу земної поверхні і тим самим створюють високі рівні забруднення [31; 37; 38].

Всі інверсії поділяються на приземні (нижній кордон співпадає з земною поверхнею) та припідняті (нижній кордон





розташований на деякій висоті). Повторюваність температурних інверсій спостерігається в 53% випадків, причому в місті переважають припідняті температурні інверсії, тоді як в сільській місцевості – приземні.

В сільській місцевості переважають приземні інверсії (їх повторюваність складає 38%), у формуванні яких першочергову роль відіграють радіаційні втрати тепла земною поверхнею. Тому вони утворюються переважно вночі при малошмарній погоді та слабкому (не більше 5 м/с вітрі).

Припідняті інверсії в сільській місцевості утворюються значно рідше, переважно при похмурній погоді та помірній (2-10 м/с) швидкості вітру.

Товщина шарів з інверсійною стратифікацією змінюється в широких межах – від 30–50 до 500 м та більше; перепад температур на верхньому та нижньому кордонах – від десятих відсотка до 10° С та більше.

У великому місті (Харків) загальна повторюваність обох видів інверсій така ж висока (в середньому за рік 57%), як і в сільській місцевості (метеорологічна станція Коломак с. Шелестове). Але співвідношення між видами інверсій в м. Харкові та с. Шелестове протилежне: якщо в с. Шелестове на долю приземних інверсій припадає 38% від загального числа інверсій, а на долю припідняті – 15%, то в Харкові приземні інверсії спостерігаються в 13%, а припідняті – в 44% від загального числа спостережень.

Глумачити ці особливості в вертикальних профілях температури в місті, а разом з тим виявити фактори, які впливають на формування острова тепла, дозволяє рівняння балансу енергії на рівні земної поверхні

$$R = Q_m + LQ_n + Q_m + Q_a, \quad (4.1)$$

де  $R = (I+i)(1-r) - B$  – радіаційний баланс (тут  $I+i$  – потік сумарної радіації;  $r$  – альbedo,  $B$  – ефективне випромінювання земної поверхні);  $Q_m$  – турбулентний потік явного тепла,  $LQ_n$  – потік скритого тепла, тобто тепло, яке затрачено на випаровування води з земної поверхні;  $Q_n$  – турбулентний потік водяної пари;



$L$  – питома теплота пароутворення;  $Q_a$  – антропогенний потік тепла, що створений різними джерелами, включаючи процеси метаболізму людини та тварин;  $Q_m$  – молекулярний потік тепла в ґрунт [31; 39].

В рівнянні балансу кожний потік в місті суттєво відрізняється від відповідного потоку в сільській місцевості. Обумовлено це перш за все забрудненням міського повітря антропогенними домішками, що впливають на потоки сонячної ( $I+i$ ) та інфрачервоної ( $B^*$ ) радіації, та зміною властивостей земної поверхні. В місті значно більший параметр шороховатості: в залежності від висоти будинків та щільності забудови він змінюється від 0,5–0,7 м до 3–5 м в порівнянні з  $10^{-3}$ – $10^{-1}$  м в сільській місцевості. Альbedo ( $r$ ) міст на 4–6% менше, ніж в сільській місцевості. Зимом та ранньою весною в помірних широтах та високих широтах особливо великий вплив на зменшення альbedo створює забруднення та збір снігу в містах. Суттєво різняться в містах та околицях турбулентні потоки скритого тепла ( $LQ_n$ ) та потоки тепла в ґрунт ( $Q_m$ ). Потоки додатні, коли вони направлені від поверхні розділу між атмосферою та ґрунтом.

Вночі, коли  $R < 0$ , в околицях створюються умови для створення приземної інверсії ( $\gamma < 0$ ) радіаційного походження (основну роль грають радіаційні втрати тепла земною поверхнею). В цей же час в місті під впливом збільшеного зустрічного випромінювання атмосфери, на що впливають домішки та водяна пара, які утворюються при спалюванні всіх видів палива, ефективно випромінювання значно менше, ніж в околицях. Оскільки вночі потік направлений з ґрунту до земної поверхні, а по абсолютних величинах в місті він більший, ніж в околицях, то це означає, що вночі біля земної поверхні більш можливі додатні значення  $\gamma_k$ , а інверсія підіймається на деяку висоту. Вдень основну роль відіграє зменшення альbedo міста, що супроводжується збільшенням поглинання сонячної радіації. Ці якісні оцінки, так і кількісні свідчать про те, що геофізичні фактори є основними в формуванні острова тепла. Отримані кореляційні зв'язки між  $\Delta T$  та чисельністю населення ( $N$ ) міста: для Європи (11 міст)



$$\Delta T_{\max} = 2,01 \lg N - 4,06. \quad (4.2)$$

Вдень основну роль відіграє зменшення альбеда міста, що супроводжується збільшенням поглинутої сонячної радіації, а також зменшення затрат тепла на випаровування [31; 36–38].

Великий вплив на турбулентні потоки тепла має швидкість вітру. По мірі посилення вітру інверсія температури руйнується не тільки в місті, але і в околицях. Разом з руйнуванням інверсії зникає і різниця  $\Delta T$ .

Отримані такі порогові значення швидкості  $u_{\text{пор}}$  вітру в різних містах, при перевищенні яких  $\Delta T$  практично рівні нулю:

Отримані безпосередні кореляційні зв'язки між  $\Delta T$  та чисельністю населення ( $N$ ) міста :

*Радіація.* Забруднюючі атмосферу міста речовини суттєво впливають на потоки та притоки короткохвильової (сонячної) радіації та довгохвильової (земної) радіації, а в кінці кінців на радіаційний баланс земної поверхні та забрудненого шару атмосфери, особливо якщо мова іде про тверді часточки, які поглинають та розсіюють сонячні промені. Вже давно відомо, що на територію, заняту містом, падає менше сонячного світла, ніж на околиці. Це без сумніву ефект наявності міста, оскільки тривалість сонячного потоку регулюється станом погоди, а вищезгадані відмінності можуть бути обумовлені тільки локальними причинами. Подібні мезокліматичні ефекти можна спостерігати також в гірській місцевості. В промислових містах втрати тривалості сонячного саява можуть досягати 10 і навіть 20%. Якщо говорити про кількість сонячної енергії, яка досягає земної поверхні, то при проходженні через запилене повітря міста її втрати приблизно такого ж порядку. Найбільші втрати сонячної енергії спостерігаються при малих висотах сонця над горизонтом, тобто рано вранці та безпосередньо перед заходом сонця. В накопиченні забруднюючих речовин велику роль відіграють приповерхневі температурні інверсії, які особливо часто повторюються взимку та влітку і викликають додаткові енергетичні втрати. Більші в середньому швидкості вітру весною та більш сильна конвекція влітку призводять до менших радіаційних втрат в ці сезони.



У дослідженні, присвяченому Британським островам, робиться висновок про те, що в середньому пряма сонячна радіація ослаблена на 38%. Але різко зростає потік розсіяної радіації. Виявилось, що потік розсіяної радіації в середньому в міських умовах в 2,35 рази переважає відповідну величину в «найчистіших» областях Англії, куди сягає вторгнення полярного повітря.

Потік сумарної радіації в місті складав лише 82% найменшого значення, яке спостерігалось в цей час в сільській місцевості.

За даними спостережень в Кельні потік сумарної радіації на горизонтальну поверхню в середньому за рік складає 59% від потоку в ідеальній (сухий та чистій) атмосфері при коливаннях на протязі року від 44% в лютому до 69% в червні.

В той же час в Трирі – невеликому мало забрудненому місті Німеччини цей потік складає 70%, при коливаннях між 60% в листопаді та 76% в квітні. В Токію притік сонячної радіації, що надходить до земної поверхні, на 12–30% менший потоку в сільській місцевості. На Британських островах потік прямої сонячної радіації в містах в середньому послаблюється на 38%. Але в містах різко (в середньому в 2,3 рази) зростає потік розсіяної радіації. В результаті потік сумарної сонячної радіації в містах складає в середньому 82% від найменшого потоку, що спостерігається за цей час в сільській місцевості.

Забруднюючі речовини не тільки послаблюють потік сонячної радіації, але і змінюють його спектральний склад. Так, за даними спостережень, в Парижі в потоці сумарної радіації на долю ультрафіолетової радіації припадає 0,3% в центрі та 3,0% в околицях, фіолетової відповідно 2,5 та 5,0; в той же час доля видимої та інфрачервоної змінюється мало. Оскільки домішки поглинають, і у відповідності із законом Кірхгофа, випромінюють інфрачервону радіацію, то, в порівнянні з околицями, в місті збільшено зустрічне випромінювання атмосфери і, як наслідок, зменшено ефективне випромінювання земної поверхні. Сума ефективного випромінювання в Києві складає 90% від аналогічної суми в Коцюбинському взимку та 85% влітку. Пояснити цей факт важко, оскільки на ефективне



випромінювання впливають не тільки домішки, концентрація яких взимку більша, а й абсолютна вологість повітря, яка може відрізнятись в місті за рахунок поливу вулиць влітку.

*Альbedo.* Спостерігається також суттєва різниця в альbedo земної поверхні в місті та його околицях. Вперше описані відмінності в значеннях альbedo міст та околиць в роботах Кунга та ін. (Kung et al., 1964) та чіткі сезонні зміни (у високих широтах), які викликані таненням та випаданням снігу. Згідно отриманим цими авторами даним, значення альbedo для сільської місцевості на 10–30% більше, ніж для міських територій. В Києві середні сезонні значення альbedo взимку на 14–16% менші, ніж влітку. Взимку альbedo земної поверхні за рахунок снігового покриву в 3–5 разів більше, ніж влітку як в місті, так і в його околицях. Але під впливом того ж снігового покриву, значно більш чистого в околицях, ніж в місті, де до того ж багато снігу вивозиться, альbedo земної поверхні в Києві відрізняється від альbedo в околицях в осінньо-зимовий сезон більше, ніж в весняно-літній.

Особливо велика різниця в перехідні місяці року: в березні та квітні, коли альbedo в Києві і, в якому нерідко снігу в ці місяці практично вже немає, на 28% та 23% відповідно менше, ніж в Коцюбинському, так як за містом в березні та квітні як правило ще зберігається сніговий покрив.

Хоча, на перший погляд, ця різниця невелика, вона відіграє велику роль, особливо коли мова іде про великі значення енергії, що приходить на земну поверхню з довгохвильовим сонячним випромінюванням (прямим та розсіяним) [38].

Кінцевий результат впливу на приземну температуру повітря залежить від радіаційного балансу ( $R$ ) земної поверхні. Але влітку та особливо восени, коли  $R$  в місті навіть менше, ніж в околицях, вклад  $R$  в підвищення температури зовсім незначний. Більше того, восени, згідно цим даним, під впливом  $R$  температура повітря в місті повинна знижуватися в порівнянні з околицями.

*Швидкість вітру.* Найбільший вплив на рівень забруднення атмосфери в місті та його околицях створює



швидкість вітру. Крім адвективного притоку, який безпосередньо залежить від швидкості вітру, на зміну концентрації домішок в часі в повітряному просторі міста суттєвий вплив має турбулентний притік домішок, який також тісно пов'язаний з швидкістю вітру [39].

Немаловажна роль вітру обумовлена його динамічним впливом на всі споруди, які піднімаються над землею, перш за все такі, як телевізійні та радіоантени, опори ліній електропередач, водонапірні башти, труби теплових електростанцій та опалювальних систем, висотні будинки. Вітрові навантаження слід враховувати при проведенні будівельних та навантажувально-розвантажувальних робіт, розведенні мостів та ін. Окремі споруди та місто в цілому являють собою перепону, під впливом якої швидкість вітру в місті, як правило, ослаблена в порівнянні з околицями. За даними спостережень в ряді міст встановлена залежність вітру від рослинного покриву. На озелених ділянках швидкість вітру на 20–30% менше, ніж на не озелених. Найбільше значення зменшення вітру в місті спостерігається поблизу земної поверхні. Слід підкреслити, що в місті розподіл вітру, температури та вологості повітря дуже неоднорідний. Нижче дахів будинків напрям вітру визначається розташуванням будинків та вулиць по відношенню до напрямку вітрового потоку над містом. В місті переважає напрям вітру вздовж вулиць. При вітрі поперечному, швидкість вітру в 2–3 рази менше.

Різниця температур повітря на світловій та тіньовій стороні вулиці при малохмарній погоді в літній день може досягати  $5^{\circ}\text{C}$ , а відносна вологість при поливі вулиць зростає на 30–40%. В умовах вільної забудови, що переважає в районах новобудов, при відсутності зелених насаджень суттєвого послаблення вітру в житлових масивах не спостерігається. Житлові та промислові будинки, змінюючи швидкість та напрям повітряного потоку, впливають на розподіл забруднюючих речовин в місті. При вітрі, що дме поперек корпусів алюмінієвого заводу, вміст фтористого водню на підвітряній стороні проммайданчика в 2,5–24 рази більше, ніж на



навітряній, а твердих фторидів в 3–28 раз. Аналогічні результати отримані для корпусного двору: при напрямку вітру вздовж осі двору найбільші концентрації забруднюючих речовин спостерігались на підвітряній стороні; при вітрах, що дмуть поперек двору, максимальне забруднення відмічено в точках, розташованих поблизу центру двору [31; 37–39].

Зміну швидкості вітру з висотою над містом описується за допомогою тих же рівнянь та формул, які отримані для природних дуже шорстких поверхонь, в тому числі лісу.

В приземному шарі висотою до 100–200 м залежність швидкості вітру  $u(z)$  від висоти  $z$  описується логарифмічною формулою

$$u(z) = 5,5b u_q \lg((z+z_0) : z_0), \quad (4.3)$$

де  $u_q$  – швидкість геострофічного вітру;  $z_0$  – параметр шорсткості;  $b=u/u_q$  – геострофічний коефіцієнт тертя;  $u$  – швидкість тертя.

Швидкість геострофічного вітру визначається або по карті тиску, або за даними зондування атмосфери (швидкість вітру на висоті 1–1,5 км близька до  $u_q$ ).

Оскільки в місті елементами шорсткості служать будинки, то параметр шорсткості (на відміну від природних, не покритих лісом ділянок землі) має порядок  $10^{-1}$ – $10^0$ м. За даними різних авторів,  $z_0$  в містах змінюється від 0,4–0,7 до 3–5 м. Вище приземного шару розподілення швидкості вітру по висоті описується за допомогою формул, які більш складні. Можна відмітити, що оскільки над містом більш сильно розвинутий турбулентний обмін, швидкість вітру зростає над містом повільніше, ніж над околицями.

Як і з теорії, так і з даних спостережень витікає, що зміна вітру з висотою суттєво залежить і від термічної стратифікації атмосфери. Згідно з існуючими уявленнями, швидкість вітру швидко зростає з висотою (більше 100 м) при інверсійній стратифікації, яка утруднює обмін по вертикалі, і порівняно повільно при падінні температури з висотою (в цю групу входять випадки нестійкої стратифікації). Вцілому вплив міста



поширюється частіше всього на весь прикордонний шар, тобто до висоти 1,0–1,5 км. Оскільки в місті існує острів тепла, то, як над всякою перегрітою областю, над ним під впливом сили плавучості виникає рух повітря, направлений вгору. В горизонтальній площині при цьому спостерігається *конвергенція* (потoki повітря сходяться). Найбільш сильно острів тепла розвинутий вночі. Конвергенція повітряних потоків є причиною того, що по ночах вітер слабне в місті не так сильно, як вдень, і, іноді може бути більшим, ніж в околицях. Невпорядковане розташування будівель та неоднорідність рельєфу місцевості призводить до того, що конвергуючі до центру міста потоки не завжди можна спостерігати, а якщо вони і є, то розподілення їх територією міста нерівномірне [31; 37–39].

Конвергенція повітряних течій, яку спричиняє острів тепла, сприяє переносу забруднюючих речовин з окраїн міста в його центральну частину. З цієї точки зору розташування промислових підприємств на окраїнах міста не вирішує проблеми зниження рівня забруднення в центрі міста: викиди підприємств, розташованих на окраїнах, конвергуючими потоками переносяться в центральну частину міста.

В існуючих містах із всіх атмосферних дій найбільших матеріальних збитків завдають повені, найбільш шкідливим впливом на здоров'я людей відмічено забруднення повітря, а найбільш подразнюють жителів міста різкі зміни напрямку вітру. Утворення острова тепла має як позитивні, так і негативні сторони. Найбільш бажаним було б зменшення можливого числа антропогенних дій на локальні умови. В табл. 4.1 перелічені основні результати кліматичних змін, пов'язаних з антропогенним тиском.

Найбільшу небезпеку «острів тепла» має у сонячні жаркі літні дні. Крім посадок дерев для створення тінистих ділянок та зволоження вулиць для збільшення випаровування, що сприяє охолодженню, можна назвати збільшення альбедо. Для цього слід фарбувати в світлі кольори стіни будинків та дахи будинків. Як захід може бути переведення під землю наземних автостоянок: з однієї сторони з території міста зникне велика





Таблиця 4.1

Основні результати кліматичних змін, пов'язаних  
з антропогенним тиском

| Характеристика                          | В місті в порівнянні з<br>околицями |
|---|-------------------------------------|
| <b>Забруднюючі речовини:</b>            |                                     |
| Ядра конденсації                        | В 10 разів більше                   |
| Часточки                                | В 10 разів більше                   |
| Газоподібні домішки                     | В 5–25 разів більше                 |
| <b>Радіація:</b>                        |                                     |
| Сумарна на горизонтальній поверхні      | На 0–20% менше                      |
| Ультрафіолетова                         | На 5–30% менше                      |
| Тривалість сонячного сйва               | На 5–15% менше                      |
| Хмарність                               | На 5–10% більше                     |
| Тумани                                  | На 30–100% більше                   |
| Опади: кількість                        | На 5–15% більше                     |
| Число днів, коли кількість опадів < 5мм | На 10% більше                       |
| Снігопади                               | На 10% більше                       |
| Температура (середньорічне значення)    | На 0,5–3,0° С більше                |
| Мінімальне значення температури взимку  | На 1–2° С більше                    |
| Максимальне значення влітку             | На 1–3° С більше                    |
| Відносна вологість (середньорічна)      | На 6% менша                         |
| Відносна вологість (взимку)             | На 2% менше                         |
| Відносна вологість (влітку)             | На 8% менша                         |
| Швидкість вітру(середнє річне значення) | На 20–30% менша                     |
| Максимальна швидкість при поривах       | На 10–20% менша                     |
| Число безвітряних днів                  | На 5–20% більше                     |

кількість заасфальтованих територій, які разом з автомобілями відіграють роль мікропарників, збільшуючи температуру повітря біля поверхні, з іншої сторони, пасажирів цих автомобілів будуть позбавлені нестерпної спеки в салонах.

#### 4.2. Димки, тумани, смоги

Забруднення атмосфери міста домішками, зміна температури повітря, швидкості вітру та інших метеовеличин не могло не відбитися на умовах формування та повторюваності



таких важливих для вирішення прикладних задач явищ, як димки, тумани та смоги, з якими пов'язано найбільш значне погіршення видимості в атмосфері. Видимість в центрі великих міст завжди гірше, ніж в сільській місцевості. За даними Ландсберга в США умови поганої видимості (з дальністю менше 10 км) спостерігаються в центрі міст на 10–20% частіше, ніж в сільській місцевості. Відповідна різниця для європейських промислових міст ще більша. Тумани з видимістю менше 1 км в містах бувають вдвічі частіші, ніж в околицях. Про видимість в містах є багато матеріалів емпіричних спостережень. Так, добовий хід дальності видимості зворотно пропорційний інтенсивності викидів. Тому вранці видимість мінімальна всюди, крім місцевостей, які характеризуються частими фотохімічними смогами. Найменша дальність видимості характерна для зими, але в тих місцях, де висока фотохімічна активність, періоди різкого погіршення видимості можуть спостерігатись і влітку, особливо в перед полуденні години [31].

*Димкою* прийнято називати такий стан атмосфери, при якому під впливом забруднення атмосфери домішками метеорологічна видимість  $S_m$  коливається в межах між 1–10 км.

*Туманом* називається накопичення в приземному шарі повітря найдрібніших крапель води або льодових кристалів, які знижують горизонтальну дальність видимості до  $S_m \leq 1$  км. В залежності від висоти верхнього кордону туману можна умовно розрізнити: наземні тумани (при висоті до 2 м), низькі (2–10 м), середні (10–100 м) та високі (більше 100 м).

Значення  $S_m$  можна також розрахувати за формулою

$$S_m = 2,95 / \alpha. \quad (4.4)$$

Наведена формула відповідає визначенню «Метеорологічна оптична дальність», яке наведено в ГОСТ 7601-78.

В табл. 4.2 представлені значення  $S_m$  та міжнародний код видимості для різних метеоумов, з яких можна оцінити  $\alpha$ , користуючись наведеною формулою.



Принципи класифікації туманів можуть бути різними в залежності від поставлених задач.

Таблиця 4.2

Міжнародний код видимості та  
метеорологічна дальність видимості

| Кодовий номер | Погодні умови   | $S_m$ , м  |
|---------------|-----------------|------------|
| 0             | Щільний туман   | < 50 м     |
| 1             | Густий туман    | 50–200 м   |
| 2             | Звичайний туман | 200–500 м  |
| 3             | Легкий туман    | 500–1000 м |
| 4             | Слабкий туман   | 1–2 км     |
| 5             | Димка           | 2–4 км     |
| 6             | Легка димка     | 4–10 км    |
| 7             | Ясно            | 10–20 км   |
| 8             | Дуже ясно       | 20–50 км   |
| 9             | Абсолютно ясно  | > 50 км    |
| -             | Чисте повітря   | 277 км     |

За мікроструктурними характеристиками виділяються тумани крапельно-рідкі, кристалічні, змішані та ті, які складаються з твердих часточок пилу та диму. За розподіленням в них крапель за розмірами – монодисперсні та полідисперсні. За інтенсивністю виділяють слабкі тумани, густі тумани і т.д.

Для прогностичних задач в основу класифікації туманів покладені процеси, які викликають їх утворення. Процес насичення повітря в приземному шарі атмосфери обумовлюється двома причинами: або пониженням температури при незмінній вологості повітря, або збільшенням вологозапасів в приземному шарі повітря. Таким чином, тумани поділяють на два класи: *тумани охолодження* та *тумани випаровування*. В залежності від характеру зміни температури тумани охолодження поділяються на радіаційні та адвективні, а тумани випаровування – на тумани випаровування з поверхні води та тумани випаровування крапель дощу (фронтальні) (рис. 4.1).

Але при метеорологічній видимості менше 10 км часточки домішок, як правило, обводнені, при цьому чим більша відносна вологість повітря, тим менша доля ядра

конденсації в загальній масі краплі. Якщо радіус краплі збільшується до 1 мкм – це вже дрібні краплі туману – то доля

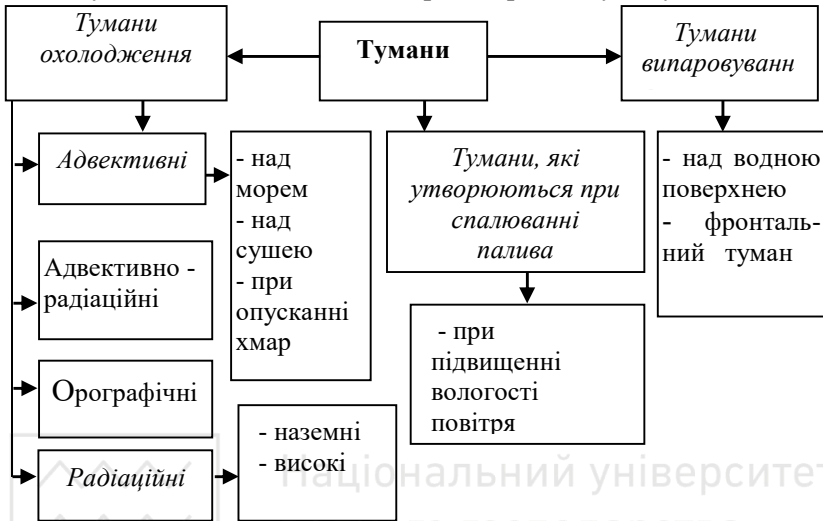


Рис. 4.1. Характеристика туманів

так званих ядер конденсації (радіусом біля 0,1 мкм) зменшується до 0,001 від загальної маси краплі. Це означає, що в стійкому крапельно-рідкому тумані відносна вологість повітря близька до 100%, а умови існування та росту крапель в туманах визначаються змінами температури або абсолютної вологості повітря. Звернемо увагу також на те, що гігроскопічних часточок – ядер конденсації – більш ніж достатньо в атмосфері не тільки міст, але і любого іншого району Землі, в тому числі і над океанами; лише на невеликій частині ядер утворюються краплі туманів та хмар [31].

Повторюваність та тривалість туманів залежить від природних умов та географічного місця розташування даного району.

Тривалість туманів коливається в широких межах від декількох хвилин до декількох діб. При цьому має місце тісний зв'язок повторюваності туману з його тривалістю, що дозволяє в окремих випадках розрахувати тривалість туманів тільки за їх



повторюваністю.

Забруднення атмосфери міст домішками антропогенного походження сприяє погіршенню видимості, росту повторюваності димок та зменшенню повторюваності стану з доброю видимістю. При певних умовах в містах тумани можуть виникати частіше, ніж в околицях. Ряд авторів (Ландсберг, 1974, 1983 та ін.) вказують, що повторюваність туманів в місті на 10–20% більша, ніж у відкритій місцевості. Це можна пояснити не тільки підвищеною кількістю ядер конденсації, яких майже завжди достатньо для утворення туманів при умовах насичення вологою повітря і поза містами, але і тим, що в містах в домішках міститься значна кількість гіроскопічних часточок.

Конденсація вологи на таких часточках починається при відносній вологості менше 100%, що викликає зростання повторюваності туманів [31; 37–39].

Але під впливом антропогенних домішок суттєво зростає в місті повторюваність лише *слабкої* ( $S_m = 6-10$  км) та помірної ( $S_m = 2-6$  км) димки. За даними Оке (1982), повторюваність щільних туманів (з видимістю менше 200 м) в містах менша, ніж за містом. Не важко визначити, що визначальна роль в цьому явищі належить підвищенню температури в місті. Якщо метеорологічна обстановка така, що відносна вологість повітря в околицях  $f_{ок} = e_{ок}/E(T_{ок})$  наближається до 100%;  $e$  – парціальний тиск водяної пари,  $E$  – тиск насиченої водяної пари, що зростає разом з ростом температури  $T$ .

В той же час відносна вологість в місті на момент утворення тумана в околицях буде рівна

$$f_m = E(T_{ок})/E(T_{ок} + \Delta T), \quad (4.5)$$

де  $T = T_m - T_{ок}$  – різниця температур повітря в місті та його околицях.

Оскільки  $f$  міста значно менше 100%, утворення туману в місті не може початися, в той час коли в околицях при цій обстановці туман починає формуватися при  $f \approx 100\%$ . Для



виникнення туману в місті температура повітря в околицях повинна впасти нижче точки роси. При цьому в околицях утворюється вільний (з великою водністю) туман, в місті – помірний або слабкий. Розсіюються в місті перш за все слабкі тумани. Таким чином, різниця в повторюваності туманів в місті та його околицях пов'язано перш за все зі слабкими та помірними туманами. Слід підкреслити, що підвищення температури впливає на утворення туманів лише у великих містах, де  $\Delta T$  досягає в середньому значень, близьких до  $1^\circ \text{C}$ .

Крім туману та димки, погіршення видимості може бути викликано запиленістю або задимленістю повітря. Це явище називається *імлюю*. На відміну від туману та димки, які спостерігаються при відносній вологості, яка наближається до 100%, імля як правило спостерігається при невеликій відносній вологості.

В атмосферному повітрі, що насичене різними домішками, в присутності каталізаторів, роль яких можуть виконувати іони та оксиди металів, при певних метеорологічних умовах можуть відбуватись хімічні реакції, в результаті яких утворюються нові речовини, часто більш небезпечні для довкілля та здоров'я людини. Хімічний склад атмосфери та хімічні та фотохімічні процеси, що в ній відбуваються, вивчаються такою областю метеорології, як хімія атмосфери.

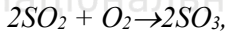
*Смоги*. В основі утворення так званих токсичних туманів, або смогів, в більшості випадків лежать фотохімічні реакції. В залежності від фізико-географічних та кліматичних умов, складу та характеру дії на довкілля смоги поділяються на два основні типи: лондонський та лос-анджелеський у відповідності до назви міст, в яких вони спостерігались. Смоги в Лондоні як правило спостерігаються в грудні-січні в ранкові години при штилі, температурі повітря від  $-1$  до  $+4^\circ \text{C}$  та відносній вологості повітря більше 85%. Вони характеризуються малою дальністю видимості, яка досягає іноді 30 м та менше. Для смогів в Лос-Анжелесі, які є більш небезпечними і частіше всього спостерігаються в серпні – вересні в середині дня, характерні швидкість вітру менше 3 м/с, температура повітря  $24-32^\circ \text{C}$ , відносна вологість менше 70% та дальність видимості



1,5–8 км. Основними джерелами забруднення повітря в першому випадку є спалювання вугілля та мазуту, в другому випадку – викиди автотранспорту. Основу лондонського смогу складають сполуки сірки, а Лос-анджелеського – фотохімічні оксиданти хімічно активних домішок складного вмісту. Характерною особливістю лос-анджелеського смогу є пониження видимості по горизонталі, що впливає на рух транспорту в містах за збільшення числа аварій на транспортних магістралях. Для утворення фотохімічного смогу необхідна порогова концентрація оксидантів рівна  $0,21 \text{ мг/м}^3$  [31].

Встановлено, що основними компонентами смогів є озон, оксиди азоту, діоксид сірки, сульфати, нітрати, вуглеводні та ін.

В результаті взаємодії з атмосферним киснем діоксид сірки може окислюватися до триоксиду



а при взаємодії триоксиду сірки з водою легко утворюється сірчана кислота:



Можлива також взаємодія діоксиду сірки з водою з утворенням сірчистої кислоти:



з наступним її окисленням до сірчаної кислоти.

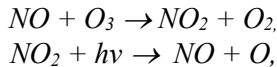
Відомо, що різні метали, такі як залізо, марганець, алюміній, мідь та інші, що знаходяться в атмосферному повітрі у вигляді сульфатів та хлоридів, а також оксидів ( $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $Al_2O_3$  та ін.), суттєво прискорюють реакції окислення, тобто є каталізаторами. За силою каталітичної активності найбільш поширені домішки можна розташувати у такий ряд:  $Mn > Cu > Fe > Co$ . Крім того, швидкість окислення зростає з підвищенням вологості повітря та зменшується з ростом температури.



Ідеальні умови для розвитку такого процесу створюються в містах, де спалюється паливо з великим вмістом сірки і де слабкий турбулентний обмін супроводжується утворенням туманів (або підвищеною вологістю). Така ситуація виникла в Лондоні в 1952 році. Щільний смог зберігався на протязі 4–5 днів і був причиною смерті приблизно 4000 людей. Випадання крапель сірчаної кислоти утворює так званий кислотний дощ, який отрує воду в ріках та озерах, розташований на підвітряній стороні великий індустріальних центрів. Підвищена кислотність опадів була відмічена в Швеції; встановлено, що обумовлена вона викидами, які були принесені повітряними течіями з Англії, Руру та Чехословаччини.

Утворення фотохімічного смогу починається з дії сонячної радіації на окиси азоту в присутності вуглеводнів. Ці первинні компоненти забруднення перетворюються в процесі складних хімічних реакцій в різні вторинні домішки (особливо такі оксиданти, як озон, кисень, діоксид азоту та ін.).

Оксид азоту та діоксид азоту перетворюються в результаті реакцій з озоном та при фотодисоціації під дією світла з довжиною хвилі менше 410 нм



де  $h$  – постійна Планка;  $\nu$  – частота коливань випромінювання.

Оксиди азоту, атомарний кисень та інші домішки приймають активну участь в різних хімічних реакціях, в тому числі з діоксидом сірки. Так, при певних умовах може утворюватися озон:



де  $M$  – будь-яка молекула у повітрі, якою передається енергія збудження, що приймає участь у взаємодії атомів або молекул.

Але одних тільки перетворень  $NO_2$  недостатньо, щоб забезпечити високі концентрації  $O_3$ , які спостерігаються при фотохімічному смогу, оскільки  $O_3$  та  $NO_2$  безперервно





руйнуються та створюються без помітної зміни їх середніх концентрацій. Тому необхідний процес, при якому цей цикл руйнувався б, оксид азоту перетворювався в  $\text{NO}_2$ , але кількість  $\text{O}_3$  зберігалась. Такий процес забезпечується наявністю сполук вуглеводнів, які сприяють утворенню в повітрі пероксиацетилнітрата (ПАН).

Відмінною особливістю смогу є коричнюватий відтінок, який надають йому окиси азоту, що входять до складу пероксиацетилнітрата (ПАН) – головної складової смогу. ПАН в свою чергу утворюється при взаємодії сонячної радіації, перш за все ультрафіолетової та фіолетової, на вуглеводні та оксиди азоту, які при цьому з'єднуються. На відміну від димок, колір яких сірий та синьо-голубий, відносна вологість в смогах, як правило, невисока. За цією ознакою смоги ближче не до димки, а до імлі – явища пониження видимості під впливом твердих слабообводнених домішок, наприклад, що утворюються під час пожежі.

Цей вид смогу буває найбільш інтенсивним на каліфорнійському узбережжі, особливо в районі Лос-Анджелеса, звідки і пішла його назва. В цій місцевості число машин дуже велике (в Лос-анджелеському окрузі в 1970 році припадало біля 1500 машин на  $1 \text{ km}^2$ ), і тому великі викиди  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_c$ . В деякі періоди року метеорологічна обстановка визначається тут субтропічним антициклоном, тобто установлюється безхмарна погода з легким вітром та інверсією осідання, сприятлива для розвитку локальних вітрів. Все це створює сприятливі умови для виникнення фотохімічного смогу: інтенсивні викиди автомашин, спокійне повітря та сонячна радіація. Такі умови можна зустріти не тільки на каліфорнійському узбережжі, тому фотохімічний смог спостерігався і в інших районах США, а також в Канаді, Мексиці, Бразилії, Англії, Голландії, Греції, Японії та інших країнах. Поза тропіками виникнення цього виду смогу обмежено літнім часом, оскільки для цього необхідна інтенсивна сонячна радіація, з добовим ходом якої пов'язаний добовий хід процесів забруднення атмосфери оксидантами.

Дальність видимості в смогах змінюється в широких межах, але, як правило, менше 10 км. Оскільки в утворенні



ПАН визначальна роль належить сонячній радіації, то смоги утворюються в містах, розташованих в низьких широтах.

Фотохімічний смог викликає подразнення очей, бронхіт, слизових оболонок носа та горла, загострення легеневих та хронічних захворювань [31; 37–39].

Утворення фотохімічних смогів можливо не тільки у великих промислових центрах, але і в сільській місцевості. Відомі смогові явища над лісами в результаті взаємодії терпенів з оксидами азоту та озоном. Продукти фотохімічних реакцій можуть переноситися на значні віддалі та накопичуватися в застійних зонах.

### **4.3. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я людини**

*Аналіз наслідків забруднення атмосфери у світі.* У щорічній доповіді ООН з питань навколишнього середовища зазначається, що забруднення повітря чинить небезпеку для здоров'я та життя людини і є причиною розвитку важких захворювань, зокрема серцево-судинних і онкологічних.

«6 мільярдів жителів планети, третина яких – діти, дихають забрудненим повітрям, що створює загрозу їх здоров'ю і навіть життю. Від наслідків забруднення щороку помирає 7 млн осіб.

Забруднення повітря є причиною респіраторних, інфекційних і серцевих захворювань, інсульту, раку легенів і ускладнень, пов'язаних з вагітністю», – наголошується у повідомленні [40].

«У дітей, які вдихають брудне повітря, все частіше проявляється астма, хронічна легенева недостатність, затримка росту, діабет, дитяче ожиріння і розумова відсталість», – йдеться в доповіді.

«Багато хто з померлих пережили тривалі тяжкі захворювання, такі як рак, респіраторні або серцеві хвороби. Ця проблема не отримує належної уваги, на відміну, наприклад, від природних катастроф – при тому, що понад 150 держав, приєднавшись до міжнародних договорів і прийнявши



відповідні закони, зобов'язалися поважати і захищати право на здорове навколишнє середовище», – наголошується в доповіді.

Найбільше страждають вразливі групи населення, а саме жінки, діти, меншини, корінні народи, а також бідняки.

Експерти називають забруднення повітря «невидимим бивцею», який щогодини забирає життя 800 осіб.

«Якщо негайно не вжити ефективних заходів, то до 2050 року смертність від забруднення повітря зросте на 50–100%. Люди не можуть уникнути брудного повітря – ні в себе вдома, ні за його межами. Головні причини забруднення атмосферного повітря – це виробництво електроенергії, промислові процеси, видобуток корисних копалин і т. д. Сумарний обсяг витрат у зв'язку з забрудненням повітря перевищує 5 трлн дол. в рік», – констатують експерти.

Біля 40 тис. дітей молодше п'яти років помирають через концентрацію в повітрі дрібнодисперсних зважених часток PM2.5, які утворюються з діоксиду азоту, продукту горіння палива.

За даними ВООЗ, ці частинки найбільш шкідливі для здоров'я і підвищують смертність. Через забруднювальні речовини PM2.5 у світі щороку беруть близько 1,8 млрд лікарняних днів, а це призводить до річних економічних витрат у \$101 млрд [40].

«Щороку забруднення повітря викопним паливом забирає мільйони життів, збільшує ризик інсульту, раку легенів і астми та коштує нам трильйони доларів», – заявив агенції Bloomberg співробітник відділення Greenpeace в Південно-Східній Азії Мінву Сон.

Загалом, за висновками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення повітря є причиною кожної з восьми смертей на планеті, викликаючи чисельні захворювання серцево-судинної, дихальної та нервової систем а також рак. Згідно даних, опублікованих ВООЗ у попередні роки, у світі від забруднення повітря, яке виникає через спалення викопного палива тепловими електростанціями, автомобілями та іншими джерелами викидів, щороку помирає понад 3 мільйони людей.



У деяких випадках вплив одних з забруднюючих речовин у комбінації з іншими призводять до більш серйозних розладів здоров'я, ніж вплив кожного з них окремо. Велику роль грає тривалість впливу.

Статистичний аналіз дозволив досить надійно установити залежність між рівнем забруднення повітря і таких захворювань, як захворювання верхніх дихальних шляхів, серцева недостатність, бронхіти, астма, пневмонія, емфізема легень, а також хвороби ока. Різке підвищення концентрації домішок, що зберігається протягом декількох днів, збільшує смертність людей літнього віку від респіраторних і серцево-судинних захворювань. У грудні 1930 р. у долині ріки Маас (Бельгія) відзначалося сильне забруднення повітря протягом 3 днів; у результаті сотні людей занедужали, а 60 чоловік померли – це більш ніж у 10 разів вище середньої смертності. У січні 1931 р. у районі Манчестера (Великобританія) протягом 9 днів спостерігалось сильне задимлення повітря, що явилось причиною смерті 592 осіб. Широку популярність набули випадки сильного забруднення атмосфери Лондона, що супроводжувалися численними смертельними наслідками. У 1873 р. у Лондоні було відзначено 268 непередбачених смертей. Сильне задимлення в сполученні з туманом у період з 5 по 8 грудня 1852 р. призвело до загибелі більше 4000 жителів Великого Лондона. У січні 1956 р. близько 1000 лондонців загинули в результаті тривалого задимлення. Велика частина тих, хто вмер зненацька, страждали від бронхіту, емфіземи легень чи серцево-судинними захворюваннями.

Дослідники з Університету Південної Каліфорнії дійшли висновку, що перевищення вмісту в повітрі шкідливих часток подвоює ризик виникнення у людини деменції (хвороба мозку).

Вчені з Університету Торонто провели додаткові дослідження і з'ясували, що люди, які проживають на відстані менше 50 метрів від проїжджої частини, на 12% частіше хворіють на деменцію, ніж ті, хто живе далеко від доріг.

Шкідливий вплив забрудненого атмосферного повітря на здоров'я населення було доведено вже після відомих токсичних туманів у містах Європи та Америки. Протягом одного тижня в



грудні 1952 р. під час токсичного туману в Лондоні померло 4000 осіб, а ще кілька тисяч людей загинуло в наступні 3 місяці. 1971 р. під час фотохімічного смогу в Токіо до лікарні потрапило близько 8000 отруєних людей. Безпосередньою причиною смерті була серцево-судинна недостатність. Підвищену захворюваність і смертність населення у зв'язку з токсичними туманами помічено в багатьох містах, зокрема Лос-Анджелесі, Сан-Франциско, Сідней, Донорі, Йокогамі, Нью-Йорку тощо. Випадки токсичних туманів стали першим сигналом, що свідчив про шкідливий вплив атмосферних забруднень на організм людини.

У містах, в наслідок забруднення повітря, яке постійно збільшується, неухильно росте число хворих, що страждають такими захворюваннями, як хронічний бронхіт, емфізема легень, різні алергійні захворювання і рак легень. У Великобританії 10% випадків смертельних наслідків припадає на хронічний бронхіт, при цьому 21% населення у віці 40–59 років страждає цим захворюванням. У Японії в ряді міст до 60% жителів хворіють на хронічний бронхіт, симптомами якого є сухий кашель з частими відхаркуваннями, наступне прогресуюче утруднення дихання і серцева недостатність (у зв'язку з цим слід зазначити, що так зване «японське економічне чудо 50-х – 60-х років» супроводжувалося сильним забрудненням природного середовища одного з найбільш красивих районів земної кулі і серйозним збитком, заподіяним здоров'ю населення цієї країни). В останні десятиліття з великою швидкістю росте число хворих раком бронхів і легень, виникненню яких сприяють канцерогенні вуглеводи.

При систематичному чи періодичному надходженні в організм порівняно невеликих кількостей токсичних речовин відбувається хронічне отруєння. Ознаками хронічного отруєння є порушення нормального поведіння, звичок, а також нейропсихічні відхилення: швидке стомлення чи почуття постійної втоми, сонливість, чи навпаки, безсоння, апатія, ослаблення уваги, неухильність, безпам'ятність, сильні коливання настрою.



Медики встановили прямий зв'язок між ростом числа людей, що хворіють алергією, бронхіальною астмою, раком, і погіршенням екологічної обстановки в даному регіоні. Вірогідно встановлено, що такі відходи виробництва, як хром, нікель, берилій, азбест, багато з отрутохімікатів, які є канцерогенами, тобто провокують ракові захворювання. Ще в першій половині 20-го століття рак у дітей був майже невідомий, а зараз він зустрічається все частіше й частіше. У результаті забруднення з'являються нові, невідомі раніше хвороби. Причини їх буває дуже важко установити.

За даними Організації Об'єднаних Націй, щороку через хвороби від викидів в атмосферу помирає близько 7 мільйонів людей у всьому світі.

Рівень смертності від забруднення повітря в Україні найвищий в світі і складає 120 смертей на 100 тисяч населення. Про це йдеться в дослідженнях групи вчених Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). Смертність від забруднення повітря в Україні в 5 разів вища, аніж у 5-ти найчистіших країнах разом узятих.

Згідно результатів дослідження, в переліку країн з найвищою смертністю від забруднення повітря Україна посідає 6-те місце після Китаю, Індії, Росії, Індонезії та Пакистану. За абсолютними показниками перше місце посідає Китай з 1 млн. смертей, друге – Індія з понад 600 тис. смертей, третє – Росія з 140 тис. смертей. В Україні щороку помирає понад 54 тисячі від забруднення повітря мікрочастками.

В Україні також чимала сумна статистика: в Центрі громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я за даними 2017-го заявляють, що опосередковано в нашій країні до 8% смертей пов'язано зі впливом забрудненого повітря [41].

В Україні основними забруднювачами повітря називають автомобільний транспорт, промислові підприємства та сільське господарство. Яку ж небезпеку несуть в собі різноманітні викиди? Наразі виділяють п'ять основних забруднювачів, за якими здійснюється моніторинг і складається індекс забруднення атмосферного повітря в Україні, це: пил, діоксид азоту, діоксид сірки, формальдегід та оксид вуглецю [42].



Забруднене повітря може спричинити такі недуги як хронічні обструктивні захворювання легень, бронхів, бронхіальну астму, а також рак легенів.

Концентрація шкідливих викидів у повітрі підвищена в українських промислових центрах, а також містах-мільйонниках. Щороку Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського складає рейтинг найбрудніших міст за показником якості повітря. Так, за даними спостережень, за 2018 рік дуже високий рівень забруднення спостерігався у Маріуполі та Дніпрі; високий – у Одесі, Кам'янському, Києві, Кривому Розі, Луцьку, Миколаєві, Слов'янську, Краматорську, Рубіжному, Львові, Запоріжжі, Лисичанську, Херсоні, Кременчузі.

*Характеристика впливів забруднюючих речовин на організм людини.* На фоні потепління клімату відбувається розширення географічних ареалів розповсюдження небезпечних тропічних вірусів (малярії, вірусів лихоманки тощо), загрожуючи також спалахами епідемій черевного тифу, холери, чуми та інших інфекцій, збудники яких мають схильність до мутацій і здатні адаптуватися до змін середовища. Крім цього, антропогенне забруднення довкілля канцерогенними факторами на обмежених територіях гігантів індустрії зумовлює розвиток новоутворень, імунодепресивних станів організму, мутагенні зміни, скорочення тривалості життя людей. Аналіз вітчизняної медико-демографічної ситуації висвітлює різні аспекти негативного впливу несприятливих факторів природного й антропогенного середовища в регіонах України на динаміку захворюваності, інвалідизації, тривалості життя, смертності населення. Забруднення атмосферного повітря та накопичення в ньому шкідливих речовин, особливо високих рівнів CO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, спричиняє широкий спектр проблем зі здоров'ям респіраторної системи – від її легкого подразнення до порушення функції легень та проявляється у зростанні показників захворювання на туберкульоз й смертності від хвороб органів дихання.

Ознаками сучасної медико-демографічної ситуації стали: послідовне скорочення кількості населення, насамперед під



впливом падіння народжуваності та подальшого зростання смертності, коефіцієнти якої в 2005–2010 роках у 1,5–2,4 рази перевищували коефіцієнти народжуваності; погіршення здоров'я всіх вікових категорій населення; зменшення тривалості життя, погіршення умов розвитку системи охорони здоров'я [43]. Шкоду, завдану здоров'ю, розглядають як джерело прямих втрат від забруднення довкілля, що доповнюються непрямими втратами (збільшення витрат і втрата доходів у результаті забруднення, видатки на відновлення здоров'я потерпілих від аварій тощо) [44].

Основними показниками стану небезпеки здоров'я населення є – кількість народжених, кількість померлих, кількість потерпілих від виробничого травматизму, кількість загиблих від виробничого травматизму, захворювання на туберкульоз, кількість відвідувань за зміну амбулаторно-поліклінічних закладів [45]. Дослідженнями встановлено, що найбільш вагомими серед сукупності факторів, які формують та впродовж усього життя впливають на стан здоров'я людини, є: обсяги виробництва промислової продукції і стан забруднення довкілля (безпосередня залежність стану здоров'я від них становить 18–20%), а також стан розвитку системи охорони здоров'я (7–12%).

Доведено прямий зв'язок між інтенсивністю забруднення повітря і станом здоров'я, а також зростанням хронічних неспецифічних захворювань, зокрема таких, як атеросклероз, хвороби серця, рак легенів тощо. Забруднене повітря значно знижує імунітет. Забруднення впливають на органи дихання, сприяючи виникненню респіраторних захворювань, катарів верхніх дихальних шляхів, ларингіту, ларинготрахеїту, фарингіту, бронхіту, пневмонії. Вони спричинюють серцево-судинні та інші захворювання, зумовлюють виникнення віддалених наслідків, тобто мутагенну, канцерогенну, гонадотоксичну, тератогенну, алергенну, ембріотоксичну й атеросклеротичну дію.

Тому на території України діють «Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря», які затверджені наказом МОЗ України





13.04.2007 р. № 184. Вони визначають порядок здійснення оцінки рівня канцерогенного та неканцерогенного ризиків для здоров'я населення від існуючого забруднення атмосферного повітря на території населеного пункту, яке сформоване за рахунок промислових викидів, життєдіяльності населення та процесів трансформації.

При визначенні пріоритетних речовин в Україні доцільно враховувати також закордонні переліки, які складені на основі вивчення компонентів забруднення повітряного середовища і характерних викидів різних промислових галузей.

Відповідно до американського методичного підходу оцінювання ризику для здоров'я населення здійснюється окремо для канцерогенних і не канцерогенних ефектів. Для оцінки канцерогенного ризику для кожної забруднюючої речовини розраховуються окремо для дітей і дорослого населення. Так при розрахунку середньої довічної щоденної дози враховується ймовірність занедужати раком, (безрозмірна величина, звичайно виражається в одиницях 1:1000000); ймовірність одержання ракового захворювання у випадку прийому одиничної дози LADI, 1 мг/кг·доба.

Канцерогенний ризик вважається допустимими при значенні 10<sup>-4</sup>–10<sup>-6</sup>. Значення канцерогенного ризику 10<sup>-3</sup>–10<sup>-4</sup> вважають допустимим для виробничих умов. Високим рівнем небезпеки вважають значення канцерогенного ризику >10<sup>-3</sup>, що вимагає здійснення заходів з усунення або зниження ризику.

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів для окремих речовин проводиться на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки де враховується коефіцієнт небезпеки; середня доза, мг/кг; середня концентрація, мг/м<sup>3</sup>; референтна (безпечна) доза, мг/кг; референтна (безпечна) концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

Отже, усі забруднюючі атмосферне повітря речовини в більшому чи меншому ступені впливають на здоров'я людини. Ці речовини потрапляють в організм людини переважно через систему дихання. Органи дихання страждають від забруднення безпосередньо, оскільки близько 50% часток діаметром 0,01–0,1 мкм, що проникають у легені, осідають в них.



Проникаючі в організм частки викликають токсичний ефект, оскільки вони:

- а) токсичні (отруйні) по своїй хімічній чи фізичній природі;
- б) служать перешкодою для одного чи декількох механізмів, за допомогою яких нормально очищується респіраторний (дихальний) тракт;
- в) служать носієм поглиненої організмом отруйної речовини.

Забруднене повітря також перешкоджає повноцінному диханню. У людей із захворюваннями дихальних шляхів, такими як астма, імунна система вже і так відчуває навантаження. В результаті цього проблеми з диханням або загострюються, або навпаки – дихання стає надміру інтенсивним.

ВОЗ прогнозує, що до 2030 року астма стане третьою з основних причин передчасної смерті у світі.

Забруднюючі речовини негативно впливають і на серце. Німецькі фахівці з'ясували, що є зв'язок між різким підвищенням концентрації оксидів азоту в атмосфері і ризиком виникнення інфарктів та інших серцевих відхилень. Вчені переконані, що в дні з найбільш низькою якістю повітря виникнення проблем з серцем значно зростає.

Ультрадисперсні частинки, що містяться в брудному повітрі, легко потрапляють в організм людини. Вони здатні викликати підвищене утворення тромбоцитів. Ці елементи відповідають за згортання крові. Однак у разі підвищеного утворення вони стають причиною виникнення бляшок у кровоносних судинах. Це порушує нормальний приплив крові до серцевого м'яза. В результаті – кисневе голодування та порушення кровообігу.

Вдихання забрудненого повітря підсилює коливання артеріального тиску протягом дня.

Гіпертонія під час вагітності є наслідком забрудненого повітря. Шкідливі речовини в складі повітря, часто є причиною патологій у майбутньої дитини. Особливо шкідливо ці речовини впливають на плід в перші два триместри вагітності, коли



відбуваються основні процеси його розвитку.

Таблиця 4.3

Органи і системи людини, які зазнають впливу  
від шкідливих хімічних сполук

| Критичні органи та системи | Сполуки:   |
|----------------------------|--|
| Органи дихання             | SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , сірководень, пил, фенол, аміак, залізо, хром VI, цинк, мідь, марганець, кадмій, нікель, формальдегід |
| Імунна система             | БП, цинк, нікель, формальдегід, бензол   |
| Вроджені вади розвитку     | БП, CO, сірковуглець, свинець, бензол  |
| Кров                       | CO, NO <sub>2</sub> , цинк, нікель, свинець, бензол  |
| Центральна нервова система | CO, фенол, марганець, нікель, свинець, бензол  |
| Серцево-судинна система    | CO, фенол, бензол, сірковуглець  |
| Репродуктивна система      | Свинець, бензол  |
| Гормональний статус        | Кадмій, свинець  |
| Нирки                      | Фенол, свинець, кадмій   |
| Печінка                    | Фенол  |
| Очі                        | Формальдегід   |

Розглянемо детальніше вплив основних забруднюючих речовин на організм людини.

CO – безбарвний газ, що не має запаху. Впливає на нервову і серцево-судинну систему, викликає задуху. Токсичність CO зростає за наявності в повітрі азоту, в цьому випадку концентрацію CO в повітрі необхідно знижувати в 1,5 рази. У разі перевищення норм вмісту у крові 15–16% CO – гемоглобіну виникає стан отруєння.

Оксид вуглецю дуже несприятливо діє на організм. Він міститься в атмосферному повітрі в кількостях, здатних підвищити вміст карбоксигемоглобіну, що погіршує стан тканинного дихання, негативно впливає на функцію ЦНС і серцево-судинної системи. Наявність оксиду вуглецю в організмі стає причиною скарг (особливо у регулювальників руху) на головний біль, запаморочення, порушення сну, зниження пам'яті й уваги, задишку, біль у ділянці серця тощо.



**Оксиди азоту.** NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>5</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. В атмосферу викидається в основному діоксид азоту NO<sub>2</sub> – безбарвний отруйний газ, що не має запаху, дратівливо діє на органи дихання. Особливо небезпечні оксиди азоту в містах, де вони взаємодіють з вуглецями вихлопних газів, де утворюють фотохімічний туман – смог. Отруєний оксидами азоту повітря починає діяти з легкого кашлю. При підвищенні концентрації NO, виникає сильний кашель, блювота, іноді головний біль. При контакті з вологою поверхнею слизистої оболонки оксиди азоту утворюють кислоти HNO<sub>3</sub> і HNO<sub>2</sub>, які приводять до набряку легенів.

Сполуки азоту — нітрити і нітрати, що потрапляють у повітря з відпрацьованими газами автомобілів і під час унесення мінеральних добрив. Деякі з них є вихідними продуктами для синтезу канцерогенних речовин. Вдихання оксидів азоту є причиною розвитку емфіземи легенів, звуження дихальних шляхів, набряку легенів.

Діоксид азоту потрапляє при горінні в атмосферу від викидів підприємств та автомобілів. А якщо понаднормова дія на людину цієї сполуки триватиме довго, це вже може спровокувати хронічні захворювання дихальних шляхів.

Рекомендується розробити нові норми ВООЗ для вмісту діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>), токсичного газу, який утворюється в процесі горіння при опаленні, виробництві електроенергії та особливо в процесі горіння в двигунах автомобілів. Нові дослідження пов'язують короткострокове і довгострокове вплив NO<sub>2</sub> зі смертністю, госпіталізацією, респіраторними симптомами при концентраціях на рівні або нижче максимально дозволених в ЄС (які відповідають тим, що пропонуються в Рекомендаціях ВООЗ).

SO<sub>2</sub> – безбарвний газ з гострим запахом, вже в малих концентраціях (2030 мг/м<sup>3</sup>) створює неприємний смак в роті, дратує слизисті оболонки очей і дихальних шляхів. Діоксид сірки викликає запалення та подразнення, що полегшує потрапляння інфекції всередину організму.

Забруднення атмосферного повітря сірки діоксидом частіше призводить до виникнення таких захворювань, як



хронічний і астматичний бронхіт, бронхіальна астма, емфізема легенів. Ці явища особливо характерні для людей, в яких немає чинника професійних шкідливостей і куріння, а також несприятливих чинників, пов'язаних з попередніми роками життя.

*Вуглеводні* (пари бензину, метану і так далі). За характером впливу на організм людини розрізняють 2 групи: подразнювальні й канцерогенні.

Подразнювальні вуглеводні наркотично впливають на центральну нервову систему (запаморочення і тому подібне), діють на слизові оболонки. Так при вдиханні протягом 8 годин пари бензину в концентрації  $600 \text{ мг/м}^3$  виникають головні болі, кашель, неприємні відчуття в горлі. До них належить альдегіди, всі насичені й ненасичені неароматичні сполуки вуглецю з воднем.

Вуглеводні канцерогенні групи є найбезпечнішими для здоров'я людини, особливо шкідливий бенз(а)пірен, який є індикатором. При тривалій дії на людину альдегіди викликають роздратування слизових оболонок очей і дихальних шляхів, а при підвищенні концентрації виникає головний біль, слабкість, втрата апетиту, безсоння.

*З'єднання свинцю*. У організм через органи дихання поступає приблизно 50% з'єднань свинцю. Під дією свинцю порушується синтез гемоглобіну, виникає захворювання дихальних шляхів, сечостатевої системи, нервової системи. Особливо небезпечні з'єднання свинцю для дітей дошкільного віку. У великих містах вміст свинцю в атмосфері досягає  $5\text{--}38 \text{ мг/м}^3$ , що перевищує природний фон в 10 000 разів.

Наростаюче забруднення повітря свинцем сприяє накопиченню його в печінці, селезінці, нирках та інших органах. Свинцеві, що містяться у відпрацьованих газах автомобільного транспорту, прискорюючи розпад еритроцитів, діє як протоплазматична отрута. Свинцеве отруєння зумовлює також функціональні зміни вищої нервової діяльності. Основними скаргами внаслідок свинцевого отруєння є головний біль, запаморочення, підвищена роздратованість, швидка втомлюваність, порушення сну.



*Формальдегід* – газоподібна речовина з різким та неприємним запахом. Формальдегід є джерелом постійного природного фонового забруднення, найбільші значення якого спостерігаються у повітрі промислових центрів. Джерела антропогенного надходження формальдегіду у навколишнє середовище – металургійні та хімічні підприємства, виробництво з виготовлення меблів, полімерів та будівельних матеріалів. Найбільша частка його надходить у повітря з відпрацьованими газами автотранспорту.

Формальдегід внесений до списку отруйних канцерогенних речовин, токсичний. Він негативно впливає на генетичний матеріал, дихальні шляхи, очі, шкіру, печінку, нирки, вражає центральну нервову систему.

Формальдегід – сильний подразник та є отрутою для клітин; потрапляючи далі в систему кровотоку людини, він уражає різні системи організму.

*Пил атмосферний* – сукупність завислих в повітрі дрібних (1-2–10-4 см) твердих частинок, здатних в безвітряну погоду осідати на поверхню Землі. Пил також є подразнюючим елементом, що, осідаючи в легенях, пошкоджує клітини.

Джерела пилу можуть бути як природного походження (вивітрювання гірських порід, виверження вулкану), так і індустріального (викиди промислових підприємств). Основна кількість пилу зосереджена на висотах до 500 м.

За оцінками ВООЗ, більше 2 мільйонів чоловік гинуть щорічно в результаті вдихання найдрібніших частинок, присутніх в забрудненому повітрі усередині приміщень і на вулиці. Частинки PM10 діаметром 10 мікрометрів або менше, які можуть проникати в легені і надходити в кровообіг, здатні викликати хвороби серця, рак легенів, астму та гострі інфекції нижніх дихальних шляхів.

Згідно з рекомендаціями ВООЗ щодо якості повітря, середня річна концентрація PM10 становить 20 мікрограм на кубічний метр (мкг/м<sup>3</sup>), проте опубліковані дані показують, що середній рівень PM10 в деяких містах сягає 300 мкг/м<sup>3</sup>.

Тривала дія дрібнодисперсних часток (PM2.5) може викликати атеросклероз, ускладнення при пологах і дитячі



респіраторні захворювання – на це вказують результати Огляду Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ).

В Огляді фактичних даних по впливу забруднення повітря на здоров'я також вказується на можливий зв'язок впливу PM<sub>2.5</sub> з неврологічним розвитком, когнітивними функціями і діабетом, а також представлена інформація, яка підтверджує причинно-наслідковий зв'язок між PM<sub>2.5</sub> і смертністю від серцево-судинних і респіраторних захворювань. Дане дослідження здійснювалося за запитом Європейської комісії в рамках проведеного в 2013 р. огляду політики та стратегій Європейського союзу в області якості повітря.

Більше 80% європейців піддаються впливу зважених часток (PM), рівень якого вище встановленого в Керівництві ВООЗ за якістю повітря 2005 р. У середньому це забирає в кожного жителя Європи 8,6 місяців життя. Результати недавно проведених досліджень демонструють зв'язок між PM<sub>2.5</sub> і смертністю при рівнях змісту PM<sub>2.5</sub>, нижче встановлених в Керівництві ВООЗ за якістю повітря – 10 гр/м<sup>3</sup> в рік. Тому в огляді ВООЗ рекомендується провести перегляд цього Керівництва. Також у доповіді рекомендується внести подальші зміни в закон, що діє в ЄС, так як встановлений у ньому максимальний рівень PM<sub>2.5</sub> в атмосферному повітрі в два рази вище, ніж рекомендується в Керівництві ВООЗ.

При оцінці ризику виділяють два типи забруднення – це тверді частинки розміром 10 мікронів і тверді частинки розміром 2,5 мікрона. Тверді частинки розміром 10 мікронів осідають в легенях і там викликають свою негативну дію; тверді частинки розміром менше 10 мікронів здатні проходити через аерогематичний бар'єр, який є в легенях, вже в кровотворне русло і там вже спричиняти свою дію. Це може викликати запальні процеси, формування тромбів, запалення стінок судин – якраз це може бути однією з причин виникнення інфарктів та інсультів. ВОЗ, за своїми оцінками у 2017 році, дає цифру у 58% передчасних смертей, спровокованих забрудненням повітря, які саме пов'язані з інфарктами та інсультами. В Україні ця цифра навіть більша і досягає 80%.



В Огляді ВООЗ представлені нові дані про вплив довготривалого впливу *озону* ( $O_3$ ) на смертність від респіраторних захворювань і смертність серед людей з супутніми хронічними станами. Це доповнює отримані раніше висновки про короточасному впливі озону, на яке робиться наголос в діючих нормах. Також вказується на вплив озону на когнітивний розвиток і репродуктивне здоров'я, в тому числі на передчасні пологи. В Огляді рекомендується розробити норми для довгострокової середньої концентрації озону [46].

Дедалі більший вплив на організм людини справляє *смог*. Фотохімічний туман, що утворюється в повітрі міст, спричинює сльозотечу, різь в очах, сухий кашель, нудоту, головний біль, стискання в грудях, задишку, загальну слабкість. Він є причиною розладів функцій органів дихання, що незрідка завершуються утворенням злоякісних пухлин. Систематичне вдихання фотооксидантів стає причиною зменшення маси тіла, зниження активності ферментів у крові і зниження потреби в кисні, зменшення вітамінного балансу, а також патологічних змін у внутрішніх органах і ЦНС.

Установлено, що в людей, що професійно мають справу з *азбестом*, підвищена імовірність ракових захворювань бронхів і діафрагм, що розділяють грудну клітку і черевну порожнину. Берилій робить шкідливий вплив (аж до виникнення онкологічних захворювань) на дихальні шляхи, а також на шкіру й очі.

*Пари ртуті* викликають порушення роботи центральної верхньої нервової системи і нирок. Оскільки ртуть може накопичуватися в організмі людини, то в остаточному підсумку її вплив призводить до розладу розумових здібностей.

При хронічному отруєнні одні і ті ж речовини у різних людей можуть викликати різні захворювання нирок, кровотворних органів, нервової системи, печінки. Подібні ознаки спостерігаються і при радіоактивному забрудненні навколишнього середовища.

Так, у районах, які постраждали від радіоактивного забруднення в результаті Чорнобильської катастрофи, захворюваність серед населення, особливо дітей, збільшилася у багато разів.





Високоактивні в біологічному відношенні хімічні сполуки можуть викликати ефект віддаленого впливу на здоров'я людини: хронічні запальні захворювання різних органів, зміну нервової системи, дію на внутрішньоутробний розвиток плоду, що призводить до різних відхилень у немовлят.

*Приклад розрахунку впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення.*

Нааявність взаємозв'язку соціально-економічних показників зі станом забруднення довкілля [47; 48] та його кількісна оцінка визначаються за допомогою кореляційно-регресійного аналізу [49], який дозволяє не тільки виявити найбільш щільні взаємозв'язки, але й встановити найбільш вагомні ознаки для регресійного аналізу і побудови регресійних моделей для прогнозування.

Комплексна інтегральна оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення проводиться на базі паралельних статистичних рядів, їх графічних зображень та дисперсійного і кореляційно-регресійного методів. Для виявлення взаємозв'язків проводиться комплексна оцінка систем всіх факторних і результативних показників за методом питомої участі [50], який дозволяє порівнювати між собою не порівнювані показники, що мають різні одиниці виміру та різну абсолютну розмірність. Алгоритм оцінки складається з визначення питомих рівнів двох груп показників (стану здоров'я та стану забруднення атмосферного повітря) за середніми даними за певний період часу, інтегрування показників кожної групи в один комплексний показник, аналіз взаємозв'язку інтегральних питомих показників, виявлення зон ризику катастрофічного забруднення атмосферного повітря в Україні та пов'язаної з ним небезпеки захворюваності.

Попередніми дослідженнями науковців встановлено, що забруднення атмосферного повітря і накопичення в ньому шкідливих хімічних сполук впливає у першу чергу (за інгаляційного шляху надходження) на показники захворювання органів і систем людини таких як органи дихання, імунна система, серцево-судинна система та ін.



За наявності в атмосферному повітрі викидів шкідливих речовин від стаціонарних та пересувних джерел та кількості проб забруднюючих речовин, що перевищує ГДК (пил і сажа, сірчистий газ, сірководень, окис вуглецю, сірковуглець, окиси азоту, аміак, фенол і його похідні та ін.) визначається середнє питоме забруднення атмосферного повітря ( $Z_a$ )

$$Z_a = \Sigma (Z_{a_i} / \Sigma Z_{a_i}) / n_i, \quad (4.6)$$

$Z_{a_i}$  – абсолютний рівень  $i$ -го показника забруднення атмосфери в регіоні;  $\Sigma Z_{a_i}$  – загальний підсумок  $i$ -го показника забруднення атмосфери в цілому по регіону,  $\Sigma (Z_{a_i} / \Sigma Z_{a_i})$  – сума питомих показників забруднення атмосфери в регіоні,  $n_i$  – кількість питомих показників.

Стан захворюваності (небезпеки здоров'я) населення в регіоні визначається за системою показників (кількість народжених, кількість померлих, кількість потерпілих від виробничого травматизму, кількість загиблих від виробничого травматизму, захворювання на туберкульоз, кількість відвідувань за зміну амбулаторно-поліклінічних закладів) за формулою

$$C_z = \Sigma (C_{z_i} / \Sigma C_{z_i}) / n_i, \quad (4.7)$$

де  $C_z$  – середній питомий рівень захворюваності населення,  $C_{z_i}$  – абсолютний рівень  $i$ -го показника небезпеки здоров'я в регіоні,  $\Sigma C_{z_i}$  – загальний підсумок  $i$ -го показника небезпеки здоров'я в цілому по регіону,  $\Sigma (C_{z_i} / \Sigma C_{z_i})$  – сума питомих показників небезпеки здоров'я,  $n_i$  – кількість питомих показників.

Розгляд взаємозв'язку між забрудненням атмосферного повітря і станом небезпеки здоров'я здійснюється за даними паралельного ряду (приклад) (табл. 4.4).

Цей ряд, який побудовано за зростанням факторного показника (питомого забруднення стану атмосфери), свідчить про те, що сім регіонів перевищують стан забруднення атмосфери проти умовного середнього державного рівня (4,0%) і створюють небезпеку здоров'ю. При цьому підприємства трьох



областей Луганської, Дніпропетровської та Донецької – викидають в атмосферу шкідливих речовин у 2–5 разів більше проти середнього, створюючи високу небезпеку розвитку захворювань легень та епідемій різних видів.

Таблиця 4.4

Паралельний ряд залежності стану здоров'я від стану забруднення атмосфери

| № регіону | Області           | Питоме, %                  |                        |
|-----------|-------------------|----------------------------|------------------------|
|           |                   | забруднення атмосфери, Зат | небезпека здоров'ю, Сз |
| А         | Б                 | 1                          | 2                      |
| 24        | Чернівецька       | 0,92                       | 1,74                   |
| 19        | Тернопільська     | 1,13                       | 2,17                   |
| 17        | Рівненська        | 1,15                       | 2,62                   |
| 3         | Волинська         | 1,19                       | 2,52                   |
| 11        | Кіровоградська    | 1,43                       | 2,86                   |
| 14        | Миколаївська      | 1,50                       | 2,63                   |
| 22        | Хмельницька       | 1,57                       | 2,81                   |
| 21        | Херсонська        | 1,59                       | 2,62                   |
| 18        | Сумська           | 1,61                       | 2,79                   |
| 25        | Чернігівська      | 1,61                       | 2,56                   |
| 7         | Закарпатська      | 1,63                       | 2,36                   |
| 6         | Житомирська       | 1,65                       | 3,21                   |
| 23        | Черкаська         | 2,18                       | 2,70                   |
| 1         | АР Крим           | 2,87                       | 4,00                   |
| 16        | Полтавська        | 3,04                       | 3,37                   |
| 2         | Вінницька         | 3,15                       | 3,09                   |
| 15        | Одеська           | 3,30                       | 4,59                   |
| 9         | Івано-Франківська | 3,70                       | 2,55                   |
| 13        | Львівська         | 4,22                       | 4,72                   |
| 10        | Київська          | 4,39                       | 3,60                   |
| 20        | Харківська        | 4,84                       | 4,98                   |
| 8         | Запорізька        | 5,17                       | 4,03                   |
| 12        | Луганська         | 8,17                       | 7,61                   |
| 4         | Дніпропетровська  | 15,29                      | 8,13                   |
| 5         | Донецька          | 22,69                      | 15,72                  |
|           | Україна           | 100,00                     | 100,00                 |



Зв'язок питомого показника небезпеки здоров'ю з факторним наочно відображено лінійною діаграмою (рис. 4.1).

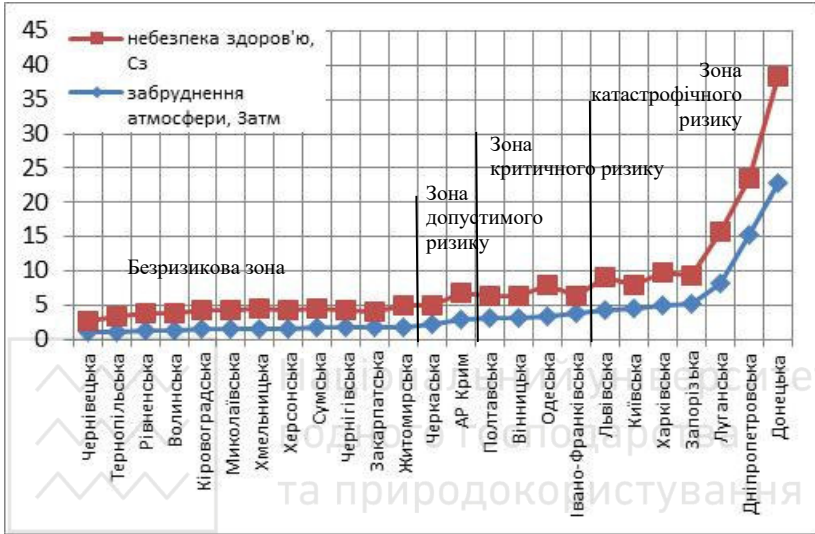


Рис. 4.1. Вплив забруднення атмосфери на стан здоров'я населення

Дані рис. 4.1 свідчать про дуже щільний зв'язок між забрудненням атмосфери і станом здоров'я – обидві лінії мають однаковий характер змін і майже співпадають. Сукупний коефіцієнт кореляції, визначений за рівнянням регресії, підтверджує цей зв'язок ( $R=0,966$ ).

В умовах України кожен відсоток підвищення забруднення атмосферного повітря підвищує стан небезпеки захворювань на 0,56 відсотка. У зоні катастрофічного забруднення атмосферного повітря знаходяться сім областей, в яких забруднення перевищує середній державний рівень у 1,5–5,5 разів. У шістьох з них спостерігається висока захворюваність на туберкульоз.

Залежність захворювань на туберкульоз від викидів в

атмосферу відображена на рис. 4.2.

Діаграми (рис. 4.2 та рис. 4.3) відображають дуже високу залежність стану захворювання на туберкульоз від викидів шкідливих речовин в атмосферу стаціонарними джерелами і автотранспортом.

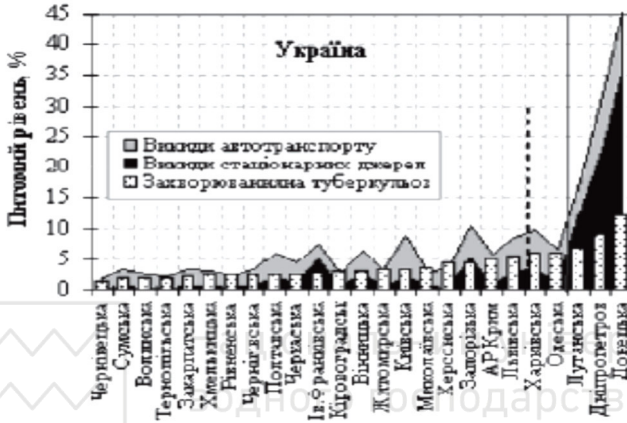


Рис. 4.2. Залежність захворювання на туберкульоз від викидів в атмосферу автотранспортом



Рис. 4.3. Залежність захворювання на туберкульоз від викидів в атмосферу стаціонарними джерелами

Кожен шар характеризує відсотковий (питомий) розмір



викидів різними джерелами, серед яких викиди від автотранспорту є більшими за розміром у всіх регіонах окрім Луганської, Дніпропетровської та Донецької областей. Висота обох шарів — це розмір викидів всіма джерелами, з якими в прямій пропорціональній залежності знаходиться показник захворювання на туберкульоз. Кількісну залежність захворювання на туберкульоз досліджено дисперсійним (табл. 4.5) і кореляційно-регресійним (табл. 4.6) методами.

Таблиця 4.5  
Дисперсійний аналіз залежності захворювання на туберкульоз від стану забруднення атмосфери

| Показники                                 | Умовні позначення | Загальна | у тому числі |           |
|---|-------------------|----------|--------------|-----------|
|   |                   |          | систематична | випадкова |
| 1. Кількість спостережень                 | N                 | 25       | X            | X         |
| 2. Обсяг варіації                         | W                 | 151,1    | 133,9        | 17,2      |
| Кількість ступенів вільності              | k                 | 24       | 2            | 22        |
| 3. Дисперсія на:<br>одиницю спостереження | $\sigma^2$        | 6,04     | 5,36         | 0,68      |
| ступінь вільності                         | S                 | X        | 66,95        | 0,78      |
| 4. Сила зв'язку                           | $\eta$            |          | 0,941        | 0,337     |
| 5. Ступінь впливу                         | $\eta$            | 1,0      | 0,886        | 0,114     |
| 6. Критерій Фішера:<br>фактичний          | F                 |          | 85           | X         |
| табличний                                 | F <sub>0.05</sub> |          | 2,8          | X         |
| 7. Достовірність, суттєвість              |                   |          | так          | ні        |

Дисперсійний аналіз залежності захворювання на туберкульоз від стану забруднення атмосфери дає можливість, використовуючи закон розкладання обсягів загальної варіації (W) виявити обсяги варіації захворювань, що сформовані дією систематичних (викидів в атмосферу) і випадкових (інших) факторів. На цій основі з'являється можливість встановлення ступеня впливу викидів в атмосферу на захворювання туберкульозом. Ця ступінь впливу становить 88,6%, а лише 11,4% захворювань залежить від інших екологічних факторів.

Зв'язок між викидами в атмосферу та захворюваннями на туберкульоз прямий і дуже високий ( $\eta = 0,941$ ). Суттєвість і



достовірність дії систематичних факторів (викидів в атмосферу) підтверджується значенням критерію Фішера, що набагато разів перевищує його критичні значення з ймовірністю  $P = 0,95$ .

Таблиця 4.6

Кореляційний аналіз залежності захворювання на туберкульоз від стану забруднення атмосфери

| Показники                                     | Умовні позначення | Викиди в атмосферу від джерел: |                      |             |
|---|-------------------|--------------------------------|----------------------|-------------|
|   |                   | стаціонарних<br>Вс             | автотранспорту<br>Вг | разом<br>Ва |
| 1. Парний коефіцієнт кореляції                | $r$               | 0,886                          | 0,888                | X           |
| 2. Сукупний коефіцієнт кореляції              | $R$               | X                              | X                    | 0,941       |
| 3. Коефіцієнт детермінації                    | $R^2$             | X                              | X                    | 0,886       |
| 4. Критерій Фішера:<br>фактичний<br>табличний | $F$<br>$F_{0.05}$ | $X$<br>$X$                     | X                    | 85 3,44     |
| 5. Коефіцієнт регресії                        | $b$               | 0,147                          | 0,606                | X           |
| 6. Вільний член                               | $a$               | X                              | X                    | 0,988       |
| Критерій Стюдента:<br>фактичний<br>табличний  | $t$<br>$t_{0.05}$ | 4,1<br>X                       | 4,6<br>X             | X<br>2,06   |

У процесі прогнозування майбутніх станів захворювань, перш за все, вибирається рівняння регресії (прямолінійне або криволінійне) порівнюванням двох показників. Якщо  $\eta = R$ , або різниця між ними дуже мала ( $<0,1$ ) – зв'язок можна визнати прямолінійним. Тому поряд з дисперсійним аналізом проводиться кореляційно-регресійний (табл. 4.6). Парні коефіцієнти кореляції ( $r$ ) вказують на однакову силу зв'язку обох джерел викидів зі станом захворювання на туберкульоз, але коефіцієнт регресії ( $b$ ) показує, що більш вагомим впливом є викиди автотранспорту ( $b = 0,606$ ). Діаграма (рис. 4.2) підтверджує цей висновок. Надійність цих висновків висока, оскільки критерій Стюдента ( $t$ ) коефіцієнтів регресії значно перевищує табличні значення ( $t=4,6 > 2,06$ ). Сукупний коефіцієнт кореляції дорівнює по абсолютній величині кореляційному відношенню ( $R=\eta=0,941$ ), що свідчить про наявність дуже



високого лінійного зв'язку між викидами в атмосферу і захворюванням на туберкульоз. А це означає, що для подальших досліджень можна будувати рівняння прямої лінії

$$Y = 0,147 X_1 + 0,606 X_2 + 0,988. \quad (4.7)$$

Звідси аналітичне рівняння лінійної регресії можливого захворювання на туберкульоз має такий вигляд

$$3m = 0,147Bc + 0,606Bm + 0,988. \quad (4.8)$$

Порівнянням фактичного стану захворюваності з теоретично можливим (при даних умовах життєдіяльності) у кожному регіоні визначено абсолютні і відносні відхилення від можливого рівня (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Перевищення фактичного стану захворювання над можливим у регіонах України

| Групи за рівнем захворюваності, % | Області   | Питома вага стану захворюваності, % |          | Відхилення фактичного від можливого |             |
|-----------------------------------|---|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|-------------|
|                                   |   | фактичний                           | можливий | абсолютне                           | відносне, % |
| I – <10                           | Закарпатська, Чернівецька, Миколаївська, Луганська, Вінницька | 3,49                                | 3,34     | 0,15                                | 4,4         |
| II – 10–20                        | Івано-Франківська, Донецька                                   | 9,14                                | 8,03     | 1,10                                | 13,7        |
| III – 20–30                       | Сумська, Хмельницька  | 2,80                                | 2,26     | 0,54                                | 23,7        |
| IV – 30–40                        | Волинська, Чернігівська, Кіровоградська, Одеська, Житомирська | 3,15                                | 2,34     | 0,80                                | 34,3        |
| V – > 40                          | Херсонська, Львівська, Рівненська (56,1%)                     | 3,49                                | 2,35     | 1,14                                | 48,5        |
|                                   | Україна   | 3,94                                | 3,24     | 0,70                                | 21,6        |

Позитивні відхилення свідчать про перевищення фактичного стану захворюваності над можливим і більш високу небезпеку стану здоров'ю населення, ніж очікувалося. Чим більшим є ступінь перевищення можливих рівнів захворюваності, тим вищим є ризик небезпеки різного виду епідемій.





Такий ризиковий стан спостерігається в АР Крим та у Львівській, Херсонській і Рівненській областях. Особливо високим цей ризик є у Рівненській області, де перевищення можливих рівнів захворюваності становить 56,1%.

Дотримання чинних нормативно-правових вимог щодо підвищення рівня природно-техногенної безпеки, поліпшення якості довкілля в аспекті покращення середовища життєдіяльності й стану здоров'я населення, цілком відповідає не лише зміцненню людського капіталу, але й підвищенню рівня екологічної безпеки населення, зниженню ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, зменшенню соціально-економічних збитків суспільства від впливу несприятливих факторів довкілля

*Дослідження, що виконуються за системним підходом потребують великої кількості статистичних показників стану забруднення атмосферного повітря і стану небезпеки захворюваності населення та поєднуються за методом питомої участі.* Цей методологічний підхід дозволяє не тільки виявити найбільш щільні взаємозв'язки між системами показників, але й встановити найвагоміші ознаки для дисперсійного і регресійного аналізу та побудови регресійних моделей для прогнозування.

Дані досліджень свідчать про надмірність техногенного навантаження на довкілля в індустріально-промислових регіонах України, що створює ризик небезпеки здоров'ю. Такий ризиковий стан спостерігається в АР Крим та у Львівській, Херсонській і Рівненській областях. Особливо високим цей ризик є у Рівненській області, де перевищення можливих рівнів захворюваності становить 56,1%. Ознаками впливу негативної екологічної ситуації в цих регіонах стали послідовне скорочення кількості населення під впливом падіння народжуваності та подальшого зростання смертності, погіршення здоров'я всіх вікових категорій населення, зменшення тривалості життя. У зв'язку з цим особливу увагу слід приділяти державному обліку й санітарно-епідеміологічному нагляду, обґрунтуванню розрахунків відповідних санітарно-захисних зон та зон обмеження забудови, складанню санітарних паспортів на радіотехнічні об'єкти та іншим питанням.



## РОЗДІЛ 5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

### 5.1. Нормування вмісту домішок в повітрі

Забруднення атмосфери характеризується великою просторово-часовою неоднорідністю. Зумовлена вона розташуванням джерел викидів, їх потужністю, а також змінами умов погоди та режиму викидів в атмосферу. Тому значний розвиток отримало математичне моделювання процесів поширення забруднюючих речовин від їх джерел викидів на підставі теорії турбулентної дифузії.

Результати моделювання використовуються для вивчення поширення домішок в атмосфері та для розрахунку забруднення повітря міст та промислових районів. На підставі розрахунків здійснюється вибір місць будівництва підприємств, раціонального розташування виробничих та жилих споруд, нормування шкідливих викидів з метою забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних та екологічних умов.

*Критерії якості атмосферного повітря.* Основною фізичною характеристикою вмісту домішок в атмосфері є концентрація – маса в мг речовини в одиниці об'єму ( $\text{м}^3$ ) повітря при нормальних умовах за одиницю часу. Концентрація домішок визначає фізичний, хімічний та інші види впливу речовин на людину та довкілля і служить основним параметром при нормуванні вмісту домішок в атмосфері.

*Якість атмосферного повітря* – це сукупність його властивостей, що визначають ступінь дії фізичних, хімічних та біологічних чинників на людей, рослинний та тваринний світ, а також на матеріали, конструкції та довкілля в цілому. Якість атмосферного повітря може вважатись задовільною, якщо вміст домішок в ньому не перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Основним критерієм якості атмосферного повітря є гранично допустимі концентрації (ГДК) для населених міст.



Для оцінки забруднення атмосферного повітря використовуються значення концентрацій забруднюючих речовин, одержаних при розрахунках очікуваного забруднення атмосферного повітря за діючою методикою, або значення концентрацій фактичного забруднення атмосферного повітря, одержані при лабораторних дослідженнях у відповідності з вимогами державного стандарту 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов» та «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» (РД 52.04.186-89) на стаціонарних, маршрутних або підфакельних постах [51].

При оцінці забруднення атмосферного повітря населених пунктів допустимим та безпечним для здоров'я людей приймається рівень, при якому концентрації окремих забруднюючих речовин а також сумарні показники забруднення не перевищують встановлені гігієнічні нормативи допустимого вмісту (ГДК, ОБРД, ГДЗ).

Оцінка фактичних і прогнозних рівнів забруднення атмосферного повітря повинна проводитися у всіх видах передпроектної та проектної документації (в тому числі у локальних і зведених томах ГДВ) з метою обґрунтування заходів, які будуть забезпечувати додержання гігієнічних нормативів.

В нашій державі проводяться роботи з гігієнічної регламентації (нормування) допустимого рівня вмісту домішок в атмосферному повітрі. Гігієнічні нормативи базуються на попередніх багатопланових комплексних дослідженнях на лабораторних тваринах, а у випадку оцінки ольфакторних реакцій організму на дію забруднюючих речовин, і на добровольцях. При таких дослідженнях використовуються найбільш сучасні методи, розроблені в біології та медицині.

До гігієнічних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць (далі забруднюючих речовин) відносяться: граничне допустимі концентрації (ГДК), орієнтовні безпечні рівні діяння (ОБРД), коефіцієнти комбінованої дії (Ккд) сумісно присутніх речовин та встановлені на їх основі. показники граничне допустимого



забруднення (ГДЗ).

*Гранично допустима концентрація (ГДК)* забруднюючої речовини в атмосферному повітрі населених місць – це максимальна концентрація, при дії якої протягом усього життя людини не виникає прямого або опосередкованого несприятливого впливу на теперішнє і майбутнє покоління, не знижується працездатність людини, не погіршується її самопочуття та санітарно-побутові умови життя.

ГДК встановлюється на основі тривалих досліджень за спеціальною методикою у підрозділах гігієнічного профілю, акредитованих Комітетом з питань гігієнічної регламентації МОЗ України, та затверджується головним державним санітарним лікарем України.

*Орієнтовний безпечний рівень діяння (ОБРД)* – це максимальна концентрація забруднюючої речовини, яка визнається орієнтовно безпечною при діянні на людину та приймається як тимчасовий гігієнічний норматив допустимого вмісту речовини в атмосферному повітрі населених місць.

ОБРД встановлюється на основі короткочасних досліджень за відповідною методикою та вводиться в дію після затвердження Головним державним санітарним лікарем України на обмежений термін.

*Коефіцієнт комбінованої дії (ККД)* – відображає характер сумісної біологічної дії одночасно присутніх в атмосферному повітрі забруднюючих речовин (сумація, посилення, послаблення або незалежна дія).

Його цифрове значення встановлюється експериментальним (або розрахунковим) шляхом та виражається в долях від індивідуальних ГДК забруднюючих речовин.

*Показник гранично допустимого забруднення (ГДЗ)* атмосферного повітря – відносний інтегральний критерій оцінки забруднення атмосферного повітря населених місць, який характеризує інтенсивність та характер сумісного діяння всієї сукупності присутніх у ньому шкідливих домішок.



ГДЗ розраховується для кожного випадку на основі визначених експериментально та затверджених у встановленому порядку коефіцієнтів комбінованої дії (*ККД*) за формулою (5.1):

$$ГДЗ = ККД \cdot 100\% . \quad (5.1)$$

У випадках, коли значення *ККД* відсутні, їх визначення проводиться за формулою (5.2)

$$ККД = \sqrt{n} , \quad (5.2)$$

де *n* – число речовин присутніх у повітряному середовищі, для яких офіційно не встановлено характер комбінованої дії.

У випадках, коли присутні в атмосферному повітрі забруднюючі речовини являють собою складну суміш з встановленими та не встановленими коефіцієнтами комбінованої дії, для розрахунку ГДЗ значення *Ккд* цієї суміші визначається за формулою (5.3):

$$ККД_{cc} = \sqrt{n \sum (K_{к021} + K_{к022} + \dots + K_{к0n2} + n + K_m)} , \quad (5.3)$$

де *ККД<sub>cc</sub>* – коефіцієнт комбінованої дії складної суміші; *ККД* – коефіцієнти комбінованої дії сумісно присутніх речовин, 1, 2, 3, ... *n*; *n* – число речовин в суміші, значення *ККД* яких відсутні в офіційних списках; *K<sub>m</sub>* – числове значення коефіцієнту для речовин з незалежним характером комбінованої дії.

Примітка: в разі присутності у повітрі однієї домішки показник ГДЗ = 100%.

*Правила оцінки забруднення атмосферного повітря.* Оцінка фактичного або прогнозного (розрахункового) рівня забруднення атмосферного повітря проводиться шляхом зіставлення показника забруднення (*ПЗ*) однією речовиною або сумарного показника забруднення (*ЕПЗ*) сумішшю речовин з показником гранично допустимого забруднення



(ГДЗ). Допустимим визнається рівень, що не перевищує ГДЗ.

Показник фактичного або прогнозного забруднення атмосферного повітря однією речовиною розраховується за формулою (5.4)

$$ПЗ = \frac{C}{ГДК} \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

де  $ПЗ$  – показник забруднення;  $C$  – фактична або прогнозна концентрація конкретної речовини в мг/куб. м,  $ГДК$  – значення гранично допустимої концентрації цієї речовини (в мг/куб. м).

Сумарний показник забруднення ( $ЕПЗ$ ) сумішшю речовин розраховується за формулою (5.5):

$$ПЗ = \sum \frac{C_1}{ГДК_1 \cdot K_1} + \frac{C_2}{ГДК_2 \cdot K_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n \cdot K_n} 100\%, \quad (5.5)$$

де  $ЕПЗ$  – сумарний показник забруднення (у %),  $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$  – значення фактичних або прогнозних концентрацій речовин, що входять до складу суміші (у мг/куб. м);  $ГДК_1, ГДК_2, ГДК_3, \dots ГДК_n$  – значення гранично допустимих концентрацій відповідних забруднюючих речовин, що входять до складу суміші (у мг/куб. м);  $K_1, K_2, K_3 \dots K_n$  – значення коефіцієнтів, які враховують клас небезпечності відповідної речовини: для речовин 1-го класу – 0,8; 2-го класу – 0,9; 3-го класу – 1,0; 4-го класу – 1,1.

*Примітки:* а) у випадку відсутності значень  $ГДК$  при прогнозуванні приземних концентрацій приймаються значення ОБРД без врахування значень коефіцієнтів  $K$ ;

б) відповідно до ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества атмосферного воздуха» та «Руководства по контролю загрязнения атмосферы» (РД 52.04.186-89) для оцінки результатів досліджень на стаціонарних і маршрутних постах використовуються максимальні разові і середньодобові  $ГДК$ , на підфакельних – максимальні разові  $ГДК$ ; для оцінки прогнозних (розрахункових) концентрацій використовуються значення максимальних разових  $ГДК$  [51];



в) відповідно до ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» для речовин, які мають встановлені лише середньодобові гранично допустимі концентрації використовується наближене співвідношення між максимальними значеннями разових і середньодобових концентрацій і вимагається, щоб  $0,1 c \leq \text{ГДК сд}$  [52].

Для встановлення показника забруднення (ПЗ) атмосферного повітря використовуються значення фактичних концентрацій (С), виражені у мг/куб. м і одержані при їх статистичній обробці відповідно до вимог «Руководства по контролю загрязнения атмосферы» РД 52.04.186-89 [53]. При цьому для розрахунку ПЗ або ЕПЗ значення С приймаються:

- для характеристики забруднення атмосферного повітря в районі окремих стаціонарних постів – середньоарифметичне значення з числа разових або середньодобових концентрацій, виміряних протягом року (що відповідає  $q_{\text{річ}}$  за РД 52.04.186-89);

- для характеристики забруднення атмосферного повітря в зоні впливу окремого об'єкта чи групи об'єктів – максимальне значення концентрації, визначене як статистично достовірна максимальна величина з числа разових концентрацій, виявлених в окремих точках населеного пункту (на стаціонарних, маршрутних чи підфакельних постах або в точках при експедиційних (епізодичних) обстеженнях ( $q_m, q_{\text{пнф.м.}}, q_x$  за РД 52.04.186-39) [54].

Для характеристики забруднення атмосферного повітря на основі розрахункових даних використовуються максимальні разові концентрації, одержані для конкретної території населеного пункту при розрахунках розсіювання викидів.

У населених пунктах, де відсутні спостереження за рівнями вмісту шкідливих домішок, для орієнтовної оцінки забруднення атмосферного повітря можливо використовувати дані розрахунків на ЕОМ, виконаних відповідно до затверджених Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (Міндовкілля України) методики і програми, проводиться з урахуванням кратності перевищення показників забруднення (ПЗ) їх нормативного значення (ГДЗ) і



включає визначення рівня забруднення (допустимий, недопустимий) та ступеню його небезпечності (безпечний, слабо небезпечний, помірно небезпечний, небезпечний, дуже небезпечний) згідно з табл. 5.1.

У випадках, коли при оцінці забруднення атмосферного повітря сумішшю речовин виявляється перевищення значення ГДЗ, повинні визначатись провідні компоненти; провідними вважаються ті речовини в суміші, індивідуальні значення ПЗ яких перевищують допустимі рівні (згідно з табл. 5.1, гр. 3).

Для досягнення допустимого рівня вмісту шкідливих домішок в атмосферному повітрі (який не буде перевищувати значення ГДЗ даної суміші речовин) повинні пропонуватись та здійснюватись заходи, спрямовані на відповідне зниження їх концентрацій. Характер та строки реалізації заходів по охороні атмосферного повітря визначаються залежно від ступеня небезпечності його забруднення (згідно з табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Оцінка забруднення атмосферного повітря

| Рівень забруднення | Ступінь небезпечності | Кратність перевищення ГДЗ | Процент* випадків перевищення ГДЗ |
|--------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Допустимий         | Безпечний             | $\leq 1$                  | 0                                 |
| Недопустимий       | Слабо небезпечний     | $> 1-2$                   | $> 0-4$                           |
| Недопустимий       | Помірно небезпечний   | $> 2-4.4$                 | $> 4-10$                          |
| Недопустимий       | Небезпечний           | $> 4.4-8$                 | $> 10-25$                         |
| Недопустимий       | Дуже небезпечний      | $> 8$                     | $> 25$                            |

Примітки: а) наведена у таблиці шкала для оцінки рівня та ступеня небезпечності забруднення атмосферного повітря приймається тимчасово і коректується при накопиченні нових даних;

б) графа 4 таблиці використовується у випадках оцінки результатів лабораторних досліджень фактичного забруднення повітря.

Відповідно ГОСТу 17.2.1.04-77 ГДК (гранично допустима концентрація) – це максимальна концентрація домішок в атмосфері, віднесена до певного відрізка часу, яка при





періодичному впливі або на впродовж всього життя людини не впливає негативно як на людину, так і на довкілля [55]. ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі регламентовані в списку Міністерства охорони здоров'я від 29 серпня 1984 року. Якщо речовина негативно впливає на довкілля в концентраціях менших, ніж на організм людини, то при нормуванні виходять з порогу дії цієї речовини на довкілля. Нині визначено гранично допустимі концентрації в атмосферному повітрі більш ніж для 500 речовин шкідливих для довкілля в цілому.

У зв'язку з тим, що короткочасна дія шкідливих речовин, які не виявляються за запахом, можуть визвати функціональні зміни в корі головного мозку і в зоровому аналізаторі, було введено значення максимальних разових граничнодопустимих концентрацій (ГДК<sub>раз</sub>).

З врахуванням вірогідності тривалої дії шкідливих речовин на організм людини були введені значення середніх добових ГДК.

Таким чином, для кожної речовини встановлено два нормативи: максимальна разова та середньодобова ГДК.

*Максимальна разова ГДК* – основна характеристика небезпечності шкідливої речовини. Вона встановлена для попередження рефлекторних реакцій у людини, тобто відчуття запаху, світлової чутливості, зміни активності головного мозку та ін. при короткочасному впливі атмосферних домішок.

*Середньодобова ГДК* встановлюється для попередження загально-токсичного, мутагенного, канцерогенного та іншого впливу речовини на організм людини.

Найбільша концентрація домішок в приземному шарі атмосфери не повинна перевищувати максимально разової ГДК при експозиції не більше 20 хв.

Якщо час дії шкідливої речовини перевищує 20 хв, то максимальна приземна концентрація  $C_{\max}$  не повинна перевищувати ГДК середньодобової.

На початок 1999 року за нормативами ГДК налічувалось біля 1000 речовин, які можуть надходити в атмосферне повітря.



Значення максимальних разових ГДК (ГДК<sub>мр</sub>) та середньодобових (ГДК<sub>сд</sub>) для найбільш поширених елементів наведено в табл. 5.2.

Перелік речовин, вміст яких в атмосферному повітрі нормується, постійно поповнюється. Встановлено тимчасові нормативи ГДК забруднюючих речовин в повітрі для рослинності (ГДК<sub>л</sub>) (табл. 5.3).

В містах, де розташовані курорти, на територіях санаторіїв, будинків відпочинку та в зонах відпочинку міст з населенням понад 200 тис. концентрації домішок, що забруднюють атмосферне повітря, не повинні перевищувати 0,8 ГДК [56].

Таблиця 5.2

Значення максимальних разових та середньодобових  
для найбільш поширених елементів

| Речовина               | ГДК, мг/м <sup>3</sup> |                | Клас небезпеки речовини |
|------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
|                        | максимальна разова     | середньодобова |                         |
| Азоту діоксид          | 0,085                  | 0,04           | 2                       |
| Сірки діоксид          | 0,5                    | 0,05           | 3                       |
| Вуглецю оксид          | 5,0                    | 3,0            | 4                       |
| Пил (завислі речовини) | 0,5                    | 0,15           | 3                       |
| Аміак                  | 0,2                    | 0,04           | 4                       |
| Кислота сірчана        | 0,3                    | 0,1            | 2                       |
| Фенол                  | 0,01                   | 0,003          | 2                       |
| Ртуть                  | -                      | 0,0003         | 1                       |

Якщо речовина впливає на довкілля в менших концентраціях, ніж на людину, то при нормуванні виходять з порогу дії цієї речовини на довкілля. Дія речовин, для яких не встановлені ГДК, оцінюється за орієнтовно безпечним рівнем дії речовини на довкілля (ОБРВ). ОБРВ – тимчасовий гігієнічний норматив для забруднюючої речовини, що встановлюється розрахунковим методом з метою проектування промислових об'єктів.



Таблиця 5.3

Нормативи ГДК<sub>л</sub>, мг/м<sup>3</sup>

| Найменування домішок в атмосферному повітрі | ГДК <sub>лм.р.</sub> | ГДК <sub>лс.д.</sub> |
|---|----------------------|----------------------|
| Азоту оксид                                 | 0,04                 | 0,02                 |
| Аміак                                       | 0,1                  | 0,04                 |
| Бензол                                      | 0,1                  | 0,05                 |
| Метанол                                     | 0,2                  | 0,1                  |
| Пари сірчаної кислоти                       | 0,1                  | 0,03                 |
| Сірчистий ангідрид                          | 0,3                  | 0,02                 |
| Сірководень                                 | 0,008                | 0,008                |
| Тверді часточки (пил)                       | 0,2                  | 0,05                 |
| Формальдегід                                | 0,2                  | 0,003                |

Нормативи ГДК для атмосферного повітря є єдиними для всієї території України. ГДУ, що встановлені в інших країнах, можуть відрізнитись в більшу або меншу сторону. Наприклад, в США встановлена ГДК<sub>мр</sub> для SO<sub>2</sub> – 0,75 мг/м<sup>3</sup>, а в Україні – 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

За ступенем дії на організм шкідливі речовини поділяють на чотири класи небезпеки. Клас небезпеки встановлюється залежно від норм та показників, наведених в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Класи небезпеки шкідливих речовин

| Показник  | Клас небезпеки |         |            |        |
|---|----------------|---------|------------|--------|
|   | 1-й            | 2-й     | 3-й        | 4-й    |
| ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup> | < 0,1          | 0,1–1,0 | 1,1–10,0   | > 10,0 |
| Середня смертельна доза, мг/кг                                  |                |         |            |        |
| При введенні в шлунок   | < 15           | 15–150  | 151–5000   | > 5000 |
| При нанесенні на шкіру  | < 100          | 100–500 | 501–2500   | > 2500 |
| Середня смертельна концентрація в повітрі, мг/м <sup>3</sup>    | < 500          | 500–000 | 5001–50000 | >50000 |
| Коефіцієнт можливості інгаляційного отруєння                    | > 300          | 300 30  | 29–3       | < 3    |



Віднесення тієї або іншої речовини до того або іншого класу небезпеки відбувається за показниками, значення яких відповідає найбільш високому класу небезпеки [56; 57].

Може скластися ситуація, коли в повітрі одночасно знаходяться речовини, що підсилюють шкідливу дію одна одної. Це явище носить назву «ефект сумачії». В такому випадку їх концентрація не повинна перевищувати одиниці

$$\frac{c_1}{ГДК_1} + \frac{c_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{c_n}{ГДК_n} \leq 1. \quad (5.6)$$

До шкідливих речовин, що складають групу сумачій, належать, як правило, близькі по хімічній будові та характеру впливу на організм людини, наприклад:

- 1) ацетон, акролеїн, фталевий ангідрид;
- 2) ацетон, фенол;
- 3) ацетон, формальдегід, фенол;
- 4) аерозолі, оксид ванадію (п'ятиокисний), оксиди марганцю;
- 5) аерозолі, оксид ванадію (п'ятиокисний), оксид сірки;
- 6) аерозолі, оксид ванадію (5), оксид хрому;
- 7) бензол, ацетофенол;
- 8) сполуки миш'яку та свинцю;
- 9) озон, діоксид азоту, формальдегід.

Максимальні разові концентрації шкідливих речовин визначаються за разовими пробами, відібраним впродовж 20 хв.

Середньодобові концентрації встановлюються або як середньоарифметичні значення або з добових концентрацій, отриманих безперервно. Регламентуються ГОСТом 17.2.3.01-86.

В тому випадку, коли відсутні значення ГДК, для оцінки гігієнічної небезпеки речовини можна користуватись показниками орієнтовно-безпечних максимальних разових рівнів забруднення повітря (ОБРВ).

Гранично допустимі викиди домішок (ГДВ) регламентуються ГОСТом 17.2.3.02-78 і встановлюються для кожного діючого підприємства за умови, що викиди від даного джерела разом з іншими джерелами і з врахуванням



перспективи їх розвитку не створять максимальної приземної концентрації, яка буде перевищувати ГДК.

При визначенні ГДК від розрахованого джерела забруднення необхідно враховувати також концентрацію забруднювачів від інших джерел так, щоб зберігалась умова

$$C + C_{\phi} \leq \text{ГДК}, \quad (5.7)$$

де  $C_{\phi}$  – фонові концентрації речовини.

*Класифікація викидів забруднюючих речовин, що приводять до впливу на атмосферу розглянутого регіону.* Викиди забруднюючих речовин класифікуються за наступними ознаками:

*1. Типи джерел викидів:*

– промисловий викид – це забруднюючі речовини, що надходять в атмосферу від промислового джерела викидів;

– непромисловий викид – це забруднюючі речовини, що надходять в атмосферу в результаті побутової й господарської діяльності людини, не пов'язаної із промисловим виробництвом (комунально-побутові котельні, автотранспорт та ін.).

*2. Організація відводу й контролю за викидами забруднюючих речовин:*

– організований викид – це викид, що надходить в атмосферу через спеціальні спорудження (газоходи, повітроводи й труби);

– неорганізований викид – це викид, що надходить в атмосферу у вигляді ненаправлених потоків пилогазоповітряної суміші в результаті негерметичності устаткування, відсутності або незадовільної роботи устаткування по видаленні газу в місцях розвантаження, завантаження або зберігання різних речовин.

*3. Режим здійснення викиду:*

– безперервний;

– залповий.

У цьому випадку розподіл досить умовний, тому що те саме джерело викидів може мати безперервний й залповий викиди, наприклад, труба нагрівальної печі, будучи джерелом



безперервного викиду пилу, окислів вуглецю, азоту й сірки, одночасно може бути джерелом залпових викидів окремих компонентів на різних стадіях технологічного процесу. Викиди умовно можна розділити на такі, що тривають більше прийнятого періоду осереднення (20 хв) – безперервні й менше 20 хв – залпові.

*4. Технологічний фактор:*

- регламентовані;
- аварійні.

*Регламентовані викиди* – це викиди, зумовлені нормальним плином технологічного процесу. Регламентовані викиди можуть бути безперервними або залповими, комбінованими, точковими, майданними, лінійними, організованими, неорганізованими й т.д.

*Аварійні викиди* – це викиди забруднюючих атмосферу речовин, що відбуваються внаслідок порушення нормального плину технологічного процесу. Аварійні викиди можуть істотно вплинути на стан навколишнього природного середовища, як самі по собі, спричиняють забруднення атмосфери одноразовою більшою кількістю викинутих забруднюючих речовин, так і до додаткового забруднення природного середовища в результаті проведення ремонтно-будівельних робіт, використання резервних видів палива й т.д. Для оцінки впливу на навколишнє середовище аварійних викидів необхідно проводити аналіз прямого й наступного впливів на реципієнтів у розглянутому регіоні.

*4. Температура пилогазоповітряної суміші:*

- нагріті;
- холодні.

*5. Висота джерела викидів:*

- високі ( $H=50$  м);
- середні ( $H=10-50$  м);
- низькі ( $H=2-10$  м);
- наземні ( $H<2$  м).

*6. Наявність очищення:*

- викидають в атмосферу без очищення;
- викидають в атмосферу з очищенням.



*Проведення обстеження джерел викидів і пилгазоочисних установок (ПГУ) на підприємстві.* Отримання необхідної інформації можливо при проведенні обстеження джерел утворення й викидів на підприємстві.

Джерело утворення – технологічний агрегат, у якому в результаті протікання фізичних, механічних або хімічних процесів утворюються речовини, склад або концентрація яких нехарактерні для нормального атмосферного повітря.

Обстеження джерел утворення, викидів забруднюючих речовин в атмосферу й ПГУ – це комплекс організаційних і технічних заходів щодо визначення характеристик джерел утворення й викидів, а також характеристик речовин, які утворюються й викидаються в атмосферу. Результати обстеження джерел утворення й викидів повинні відбивати існуючі параметри джерел утворення й викидів в умовах номінального навантаження технологічного устаткування.

Обстеження джерел утворення, викидів і ПГУ може проводитися для:

а) заповнення різних форм держстатзвітності (повна або вибіркова інвентаризація);

б) проведення робіт з регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу:

– визначення еколого-технічних нормативів утворення забруднюючих атмосфери речовин (повна інвентаризація);

– визначення параметрів, що утворюються й забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу, з метою нормування викидів забруднюючих речовин в атмосферу (повна інвентаризація);

– проведення контрольних вимірів відповідно до фактичних кількостей утворених і забруднюючих речовин, що викидають, установленим еколого-технічним нормативам і нормативам викиду, визначення параметрів джерел виділення або викидів за окремими технологіями, речовинами (вибіркова інвентаризація);

в) рішення внутрішніх завдань підприємства:

– розробка планів реконструкції окремих виробництв;

– розробка перспективних планів, складання



довгострокових програм;

- розробка заходів щодо впливу на склад викидів забруднюючих атмосферу речовин під час технологічного процесу;

- визначення питомих нормативів утворення й викидів забруднюючих атмосферу речовин і використання останніх для оперативного контролю за викидами забруднюючих атмосферу речовин;

- вибір і планування термінових і перспективних природоохоронних заходів;

- оптимізація використання сировинних і матеріальних ресурсів з погляду поліпшення екологічної ситуації в місті;

- розробка заходів для окремих або групи джерел утворення й викидів для оперативного впливу на розміри санітарно-захисної зони в цілому або на окремих ділянках;

- математичне моделювання варіантів досягнення або зміни розмірів санітарно-захисної зони підприємства;

- налагодження й перевірка ефективності роботи пилогазоочисного устаткування.

Повна або вибіркова інвентаризації повинні мати єдине методичне забезпечення, а форми подання інформації й зміст звіту регламентуються відповідною інструкцією.

Повна інвентаризація джерел виділення й викидів забруднюючих атмосферу речовин, що передуює проведенню робіт з нормування викидів в атмосферу, проводиться підприємствами раз у п'ять років. За результатами проведеної інвентаризації складається звіт установленої форми.

Матеріали з інвентаризації джерел виділення, викидів і ПГУ затверджуються адміністрацією підприємства і є тим вихідним матеріалом, що використовується для нормування викидів (тобто розробки ГДВ), проведення контрольних функцій органів державного й відомчого контролю.

Інвентаризація джерел виділення й викидів забруднюючих атмосферу речовин і ПГУ проводиться:

- методами прямих інструментальних вимірів на підприємстві (мг/м<sup>3</sup>);

- розрахунковими методами (г/с і т/рік).





Розрахункові методи застосовуються лише у випадку відсутності можливості проведення прямих інструментальних вимірів (відсутність методик, приладів та ін.).

*Організація проведення прямих інструментальних вимірів на підприємстві.* Проведення інструментальних вимірів здійснюється за погодженою програмою із вказівкою обсягів, строків, методів і порядку її проведення й подання результатів.

Програма інвентаризації містить у собі:

а) перелік джерел утворення й викидів забруднюючих атмосферу речовин;

б) перелік забруднюючих речовин, що утворюються при роботі технологічного устаткування й викидаються в атмосферу;

в) схему точок відбору проб;

г) програму здійснення вимірів, що складається з:

– переліку методик, що регламентують відбір, умови зберігання й транспортування відібраних проб;

– переліку й опису приладів, що використовуються при проведенні робіт з інвентаризації джерел утворення й викидів забруднюючих речовин;

– методики обробки результатів проведення вимірів.

Перед безпосереднім проведенням вимірів проводиться детальне вивчення технологічних процесів даного виробництва. При цьому уточнюються всі види сировини й палива, що використовується, їхні можливі комбінації, матеріально-режимні нормативи ведення технологічного процесу. На підставі вивчення проектно-кошторисної документації визначаються характеристики стану технологічного й пилогазоочисного устаткування, параметри джерел утворення й викидів, види, обсяги й склади виробленої продукції.

Схема місць і точок відбору проб складається виконавцем з обов'язковим узгодженням на підприємстві, а при нормуванні викидів – органами Міндовкілля України (рис. 5.1).

Для оцінки організованих викидів в атмосферу, необхідно встановити точки на газоходах всіх джерел утворення забруднюючих речовин (т. А, В, З, Д), а також після наявних пилогазоочисних апаратів (т. Е) і на виході із джерела викидів (т. Д).

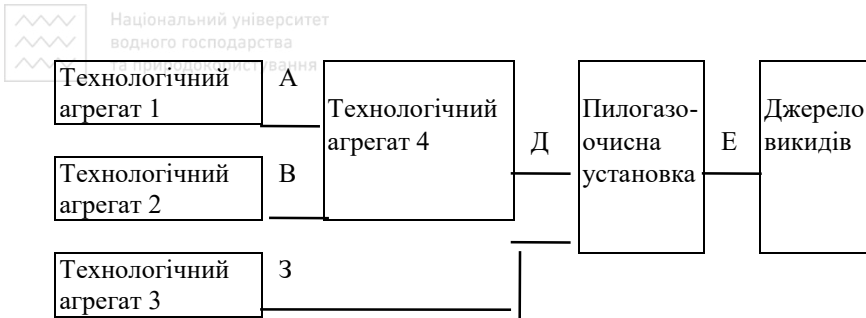


Рис. 5.1. Схема місць і точок відбору проб

Крім того, необхідно доповнити схему точками в місцях неорганізованих викидів через нещільності технологічного устаткування, якщо ці викиди не враховуються при вимірах кількостей забруднюючих речовин, що викидають через аспіраційну систему.

У процесі виконання інструментальних вимірів фіксуються такі показники:

- швидкість газових потоків;
- тиск і розрідження газових потоків;
- вологість газів;
- запиленість газових потоків;
- концентрація газоподібних забруднюючих речовин.

Виміри повинні здійснюватись:

- а) при проведенні контрольних вимірів – при фактичних:
  - режимах завантаження технологічних агрегатів;
  - показниках якості готової продукції, видів сировини й споживаного палива;
  - режимах роботи аспіраційних і вентиляційних систем;
  - показниках роботи газоочисного й пиловловлювального устаткування;
- б) при визначенні еколого-технічних нормативів при:
  - оптимальних режимах завантаження технологічного устаткування, обумовленого технологічним регламентом;
  - номінальних показниках якості готової продукції, видів



сировини й споживаного палива відповідно до ДСТ;

- номінальних режимах роботи аспіраційних і вентиляційних систем, передбачених проектною документацією;
- показниках роботи газоочисного й пиловловлювального устаткування, що відповідають паспортним даним.

Виміри концентрацій забруднюючих атмосферу речовин, що утворюються в технологічному процесі й викидаються в атмосферу при певних режимах роботи технологічного устаткування й ПГУ повинні виконуватися при одному і тому ж завантаженні технологічного устаткування й стабільних показників якості готової продукції, сировини, палива протягом усього періоду вимірів.

*Застосування розрахункових методів при проведенні інвентаризації.* Розрахункові методи визначення кількісних характеристик забруднюючих речовин, що утворюються й викидаються в атмосферу, застосовуються у випадку відсутності методик їхнього відбору й визначення, а також необхідних приладів. У цьому випадку застосовуються методи балансових розрахунків з обов'язковим обліком типу розглянутого виробництва й, відповідно до цих всіх можливих комбінацій використовуваної сировини, палива, матеріалів, що застосовуються на підприємстві, навантажень технологічного обладнання тощо.

Розрахункові методи визначення нормативних показників інвентаризації джерел виділення й викидів забруднюючих речовин застосовуються також у випадках, коли фактичні матеріально-режимні показники роботи технологічного устаткування відрізняються від нормативним, обумовленим технологічним регламентом і немає можливості приведення їх у відповідність із ним. При роботі технологічного устаткування, відмінного від обумовленого технологічним регламентом режиму, використовуються дані проектно-кошторисної документації й літературні джерела, різні методи спеціальних розрахунків.

Закон «Про охорону атмосферного повітря» чітко визначає такі заходи охорони атмосферного повітря, як



встановлення санітарно-гігієнічних норм гранично допустимих концентрацій (ГДК) та гранично допустимих викидів, характерних для даної території. Правила встановлення допустимих викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами визначає ГОСТ 17.2.3.02.-78, а методи розробки нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ) та тимчасово-погоджених викидів – «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах промислових підприємств», створена спеціалістами Головної геофізичної обсерваторії ім. А. І. Воєйкова [58; 59; 52].

Нормування викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря здійснюється таким чином: встановлюються норми викидів для кожного стаціонарного джерела і кожного інгредієнта на підставі даних розрахунків полів максимальних концентрацій шкідливих речовин в приземному шарі. При цьому передбачається, що встановлення норми викидів незалежно від числа та характеру стаціонарних та пересувних джерел повинні забезпечувати в приземному шарі повітря концентрацію шкідливих речовин, що не перевищує ГДК. Якщо ця умова витримується, то норми гранично допустимих викидів (ГДВ) для кожного підприємства чисельно рівні самому викиду, вираженому в г/с.

В тому випадку, коли концентрація шкідливих домішок в атмосферному повітрі перевищує ГДК, для всіх підприємств, що входять в зону підвищеного забруднення, встановлюються нормативи тимчасово-погоджених викидів (ТПВ). Враховуючи досвід практичного використання маловідходних та безвідходних технологій як в нашій країні, так і за кордоном, визначаються можливості пониження викидів, головним чином для джерел, що найбільше забруднюють атмосферне повітря. Потім проводиться оцінка рівня зниження забруднення повітря після реалізації природоохоронних заходів. На кожній стадії для підприємств встановлюються ступеневі нормативи тимчасово погоджених викидів ( ТПВ<sub>1</sub>, ТПВ<sub>2</sub>...) до досягнення норми ГДВ.

Розрахункові поля концентрацій шкідливих речовин від стаціонарних та пересувних джерел викидів можуть служити



основними матеріалами при експертизі проектів, розробці територіально-комплексних схем та генеральних планів розвитку міст та населених пунктів, при аналізі варіантів складу джерел забруднення атмосферного повітря, для визначення фонових концентрацій.

Ступінь небезпеки забруднення атмосферного повітря характеризується найбільшим розрахованим значенням концентрації, що відповідає несприятливим метеорологічним умовам, в тому числі небезпечній швидкості вітру. Норми не поширюються на розрахунок концентрацій на далекі (понад 100 км) віддалі від джерела викиду.

Розрахунками визначаються разові концентрації, віднесені до 20–30 хвилинного інтервалу осереднення.

|    |     |    |    |                                   |
|----|-----|----|----|-----------------------------------|
| 0. | 00. | 0. | 0. | Індекс агрегатного стану          |
|    |     |    |    | Цифровий індекс хімічної речовини |
|    |     |    |    | Цифровий індекс розміру часточок  |
|    |     |    |    | Цифровий індекс маси речовини     |

Згідно з ГОСТом 17.2.1.01-76 викиди в атмосферу класифікуються (з присвоєнням їм відповідного індексу):

За агрегатним станом на : газоподібні (А), рідкі (К) та тверді (Т);

За хімічним складом: сірчистий ангідрид (01), оксид вуглецю (02), оксиди азоту (03), фтор та його сполуки (04), хлор (07), аміак (10), кислоти (20), луги (21), сажа (23), метали та їх сполуки (24), пил (25), інші (26);

За розміром часточок: менше  $0,5 \cdot 10^{-6}$  м (1); від  $0,5 \cdot 10^{-6}$  до  $3 \cdot 10^{-6}$  м (2); від  $3 \cdot 10^{-6}$  до  $10 \cdot 10^{-6}$  м (3); від  $10 \cdot 10^{-6}$  до  $50 \cdot 10^{-6}$  м (4); від  $50 \cdot 10^{-6}$  та більше (5);

За масою речовини: менше 1 кг/год (1); від 1 до 10 кг/год (2); від 10 до 100 кг/год (3); від 100 до 1000 кг/год (4); від 1000



до 10000 кг/год (5); від 10000 кг/год та більше (6).

За структурою побудови умовного позначення викидів можна в короткій формі характеризувати викиди в атмосферу від різних джерел. Наприклад, запис Т.25.2.1. означає, що в атмосферу викидається пил з розміром часточок до 3 мкм та масою меншою 1 кг за годину.

## **5.2. Визначення забруднення приземного шару атмосфери із застосуванням розрахункових методів математичного моделювання. Розрахунок забруднення атмосферного повітря**

Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря здійснюється за даними результатів розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та даними, що одержані при проведенні інструментальних методів досліджень акредитованими лабораторіями в установленому законодавством порядку:

- на межі санітарно-захисної зони;
- в сельбищній зоні;
- в зоні відпочинку.

Для визначення забруднення приземного шару атмосфери використовуються затвержені в Україні програми розрахунку розсіювання забруднюючих атмосфери речовин. Алгоритмом розрахунку є формули визначення приземної концентрації забруднюючих речовин ( $C_m$ ), описані в ОНД-86 (Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що утворюються у викидах підприємств) [52].

Види розрахунків забруднення атмосфери:

- на існуючий період часу без обліку та для визначення зони впливу джерел даного підприємства;
- на існуючий період часу з урахуванням тла для визначення часткового внеску джерел даного підприємства;
- на перспективний період для визначення розмірів санітарно-захисної зони підприємства у випадках реконструкції, будівництва нових виробництв і т.д.;



- на кожний етап ТПВ, що визначається органами Міндовкілля України при розробці загальноміських заходів щодо досягнення нормативів ГДВ забруднюючих речовин в атмосферне повітря;
- на період досягнення нормативів ГДВ із урахуванням природоохоронних заходів для їх досягнення.

### 5.2.1. *Визначення максимальних приземних концентрацій*

Розрахунок максимальних приземних концентрацій шкідливих домішок при викидах газоповітряної суміші від одинарного джерела з круглим устям досягається при несприятливих метеорологічних умовах на віддалі  $x_m$  від джерела викиду і визначається за формулою



$$C_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt[3]{V\Delta T_1}}, \quad (5.8)$$

де  $A$  – коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери значення  $A$  для України (зона, розташована північніше  $52^\circ$  пн. ш., а також для України (для розташованих в Україні джерел висотою меншою 200 м в зоні від  $50$  до  $52^\circ$  півн. ш – 180, а південніше – 200).

Для закордонних територій значення коефіцієнта  $A$  рекомендується приймати за подібними кліматичними умовами, які визначають інтенсивність турбулентного обміну в прикордонному шарі атмосфери.

$F$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Значення безрозмірного коефіцієнта  $F$  приймається для газоподібних шкідливих речовин та дрібнодисперсних аерозолів (пил, зола та ін., швидкість упорядженого осідання яких практично дорівнює нулю) – 1, для дрібнодисперсних аерозолів (крім вказаних в попередньому пункті) при середньому експлуатаційному коефіцієнті очистки викидів не менше 90% – 2, від 75 до 90% –



2,5, менше 75% та при відсутності очистки – 3;  $V$  – м<sup>3</sup>/с – витрата газоповітряної суміші, що визначається за формулою

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0, \quad (5.9)$$

де  $D$  (м) – діаметр устя джерела викиду;  $\omega_0$  – (м/с) – середня швидкість виходу газоповітряної суміші із джерела викиду;

$M$  – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу за одиницю часу, г/с; Значення потужності викиду  $M$  (г/с) та витрати газоповітряної суміші  $V_1$  (м<sup>3</sup>/с) при проектуванні підприємств визначаються розрахунком технологічної частини проекту або приймаються у відповідно до діючих для даного виробництва (процесу) нормативів. В розрахунках приймаються значення  $M$  ті, що реально мають місце в таких умовах експлуатації підприємств, при яких досягається максимальне значення  $S_m$ . Значення  $M$  відносять до 20–30 хвилинного інтервалу осереднення в тому числі і у випадках, коли тривалість викиду менша 20 хв.

$m, n$  – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші із устя джерела викиду. Коефіцієнти  $m, n$  знаходять залежно від параметрів  $f, v_m, v_m', f_e$  за графіками (рис. 5.2) або формулами

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (5.10)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}, \quad (5.11)$$

$$v_m' = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H}, \quad (5.12)$$

$$f_e = 800 (v_m')^3, \quad (5.14)$$

$H$  – висота джерела викиду над рівнем землі, м (для наземних джерел при розрахунках приймається  $H = 2$ );





Дані про параметри джерел і викидів забруднюючих речовин в атмосферу, що використовуються при розрахунку приземних концентрацій, містяться у звітах про інвентаризації джерел викидів на підприємстві, затверджених адміністрацією підприємства й органами Міндовкілля України.

$\Delta T$  – (°C) – різниця між температурою газоповітряної суміші та температурою навколишнього повітря. При визначенні  $\Delta T$  слід приймати температуру навколишнього атмосферного повітря  $T_{\text{в}}$ , рівною середній максимальній температурі навколишнього повітря найбільш спекотного місяця року, а температуру викинутої в атмосферу газоповітряної суміші  $T_c$  – за діючими технологічними нормативами

$\eta$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості, у випадку слабо пересічної місцевості з перепадом висот, що не перевищують 50 м на 1 км,  $\eta=1$ .

Коефіцієнт  $m$  визначається залежно від  $f$  за формулами або за рис. 5.2:

$$\text{при } f < 100, \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}; \quad (5.15)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}, \quad \text{при } f > 100. \quad (5.16)$$

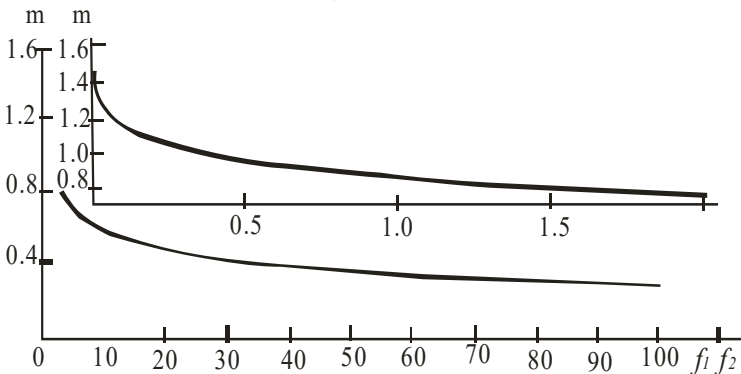


Рис. 5.2. Визначення коефіцієнтів  $m, n$

Для  $f_e < f < 100$  значення коефіцієнта  $m$  обраховується



при  $f = f_e$

Коефіцієнт  $n$  при  $f < 100$  визначається залежно від  $v_m$  за формулами

$$n = 1 \text{ при } v_m \geq 2, \quad (5.17)$$

$$n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2, \quad (5.18)$$

$$n = 4,4 v_m \text{ при } v_m < 0,5 \quad (5.20)$$

або вибираються за рисунком 5.3:

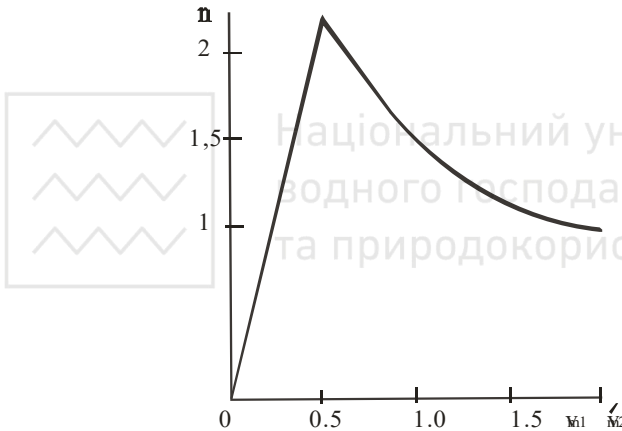


Рис. 5.3. Визначення коефіцієнта  $n$  залежно від  $v_m$ .

При  $f \geq 100$  або  $\Delta T \approx 0$  коефіцієнт  $n$  розраховують за формулами:

$$n = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}. \quad (5.21)$$

У випадку  $f \geq 100$  (або  $\Delta T \approx 0$ ) та  $v_m \geq 0,5$  (холодні викиди) при розрахунках  $c_m$  використовується формула



$$c_m = \frac{AMFn\eta}{H^{4/3}} K, \quad (5.22)$$

де 
$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1\sqrt{\omega_0 V_1}}.$$

Аналогічно, при  $f < 100$  та  $v_m < 0,5$  або  $f \geq 100$  та  $v_m' < 0,5$  (випадки дуже малих небезпечних швидкостей вітру) розрахунок  $c_m$  проводиться за формулою

$$c_m = \frac{AMFm'\eta}{H^{7/3}}, \quad (5.23)$$

де  $m' = 2,86m$  при  $f < 100$ ,  $v_m < 0,5$ ;  $m' = 0,9$  при  $f \geq 100$ ,  $v_m' < 0,5$ .

Наведений алгоритм розрахунків належить до нормальних метеорологічних умов. Окремо слід розглядати аномально небезпечні умови вертикального розподілу коефіцієнта обміну, температури повітря та швидкості вітру, в тому числі випадки припіднятих інверсій, туманів, повної відсутності вітру (штиль) та інші. Дані розрахунків на несприятливі умови використовуються при проведенні заходів капітального характеру на тривалий період часу. При прогнозі аномально небезпечних метеорологічних умов, які, як правило, нетривалі і вірогідність настання яких не перевищує 1–2%, рекомендується вживати заходи експлуатаційного характеру з тимчасового скорочення викидів.

Аномальні профілі швидкості вітру характеризуються різким послабленням або посиленням вітру в окремих шарах повітря. Найбільш характерним прикладом є випадок небезпечно малої швидкості вітру (штиль) біля земної поверхні. В цьому випадку приземну концентрацію від джерела викиду висотою  $H$  можна приблизно розрахувати за формулами для випадку відсутності штилю, замінюючи в них  $H$  на  $H - h$ , де  $h$  – висота шару штилю, причому  $H > h$ . Внаслідок цього максимум концентрації  $c_m$  зростає приблизно в  $(\frac{H}{H-h})^2$  разів.

Вплив припіднятих інверсій на поширення домішок визначається тим, що в них різко послаблюється турбулентність.



(при  $Ri \rightarrow 1$  коефіцієнт турбулентності наближається до нуля). До цього часу методи розрахунку турбулентності в шарах припіднятої інверсії мало розроблені. Приблизно з рівняння балансу енергії турбулентності можна зробити такі висновки: якщо шар інверсії розташований безпосередньо над джерелом, то приземна концентрація домішок збільшується в 1,5–2 рази, іноді й більше.

Вплив туманів проявляється в тому, що вони супроводжуються припіднятою інверсією та штилем. Крім того, розчини ряду домішок, наприклад,  $SO_2$ , в краплях туману більш токсичні, а осідання крапель сприяє збільшенню їх приземної концентрації. Розрахунок забруднення повітря при наявності туману виконується за допомогою рівняння турбулентної дифузії, в якому враховується член

$$\alpha q = \int_0^{\infty} P(r) N(r) dr, \quad (5.24)$$

де  $P(r)$  – кількість домішки, поглинутої краплями туману радіусом  $r$  в одиницю часу, а  $N(r)$  – функція розподілу крапель за розмірами.

При дослідженні впливу туманів рівняння турбулентної дифузії слід доповнювати рівнянням, що описує зміну температури та вологості повітря в прикордонному шарі атмосфери.

Перед проведенням розрахунків проводиться визначення доцільності проведення розрахунку забруднення атмосфери на ЕОМ

*Доцільність проведення розрахунку забруднення атмосфери на ЕОМ*

$$\frac{M}{ГДК} > \Phi; \quad (5.25)$$

$$\Phi = 0,01 \text{ Н, при } H > 10 \text{ м; } \Phi = 0,1, \text{ при } H < 10 \text{ м;}$$



де  $M$  – сумарне значення викиду від усіх джерел підприємства, г/с; ГДК – максимальна гранично допустима концентрація, мг/м<sup>3</sup>;  $H$  – середня висота джерел викидів по підприємству.

Визначення середньої висоти проводиться за формулою:

$$H = \frac{5M(\quad) + 15M(\quad) + 25M(\quad) + \dots}{M}, \quad (5.26)$$

$$M = M(\quad) + M(\quad) + M(\quad) + \dots$$

де  $M$  і  $H$  – відповідно повний викид (г/с) і його середньорозрахована висота на підприємстві;  $M(\quad)$ ,  $M(\quad)$  і т.д. – сумарні викиди підприємства в інтервалах висот джерел до 10 м включно, 11–20, 21–30 м і т.д.

Якщо всі джерела на підприємстві є низькими або наземними, висота викиду не перевищує 10 м (викиди можуть бути як організованими, так і неорганізованими), то  $H$  приймається рівною 5 м.

Таблиця 5.5

Коефіцієнт доцільності проведення розрахунків розсіювання на ЕОМ

| № з/п | Найменування забруднюючої речовини | Доцільність проведення розрахунків розсіювання (так чи ні)<br>$\frac{M}{ПДК} > \Phi$ , |
|-------|------------------------------------|--|
| 1     | 2                                  | 3  |

### 5.2.2. Врахування впливу рельєфу місцевості при розрахунку забруднення атмосфери

Рельєф місцевості навіть при наявності невисоких підвищень рельєфу суттєво змінює мікроклімат в окремих районах, а також характер розсіювання шкідливих речовин.

При проведенні експериментальних досліджень було відмічено, що великі концентрації шкідливих домішок спостерігались з навітряної сторони пагорбів, що можна пояснити утворенням за пагорбами зон пониженого тиску, де



виникає зустрічних рух повітряних мас. Дослідження забруднення атмосферного повітря окислами азоту показали, що на місцевості, де є пониження та підвищення рельєфу, поширення шкідливих домішок носить нерівномірний характер, і в понижених місцях утворюються застійні, погано провітрювані зони з високою концентрацією шкідливих речовин.

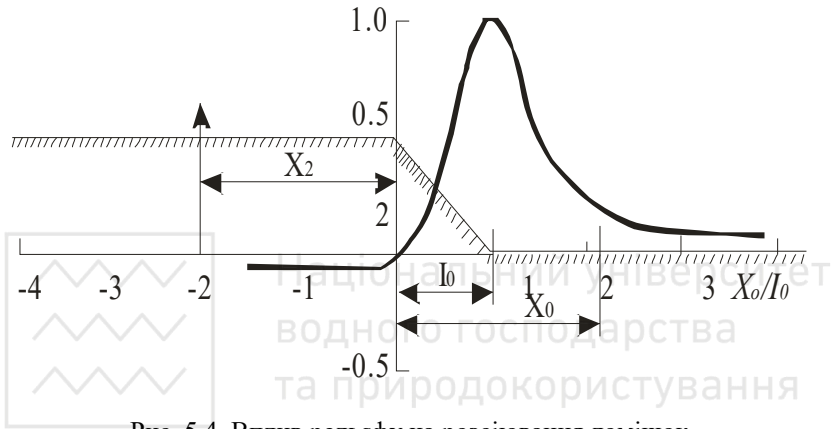


Рис. 5.4. Вплив рельєфу на розсіювання домішок

Напрямок та сила вітру в приземному шарі атмосфери при наявності пагорбів може значно відрізнятись від вітру у вільній атмосфері.

При будівництві нових промислових об'єктів в районах зі складним рельєфом місцевості, для яких є дані лише про напрям вітру у вільній атмосфері, ще до початку будівництва на стадії проектування необхідно дослідити мікрокліматичні умови в районі майбутнього будівництва.

В умовах промислової забудови рух окремих часточок або груп часточок відбувається інакше, ніж у вільній атмосфері. Споруди, що знаходяться в повітряному потоці, викликають зміни в полях швидкостей руху вітру та змінюють його. Над спорудами швидкість вітру значно збільшуються, а за спорудами – знижується і на деякій віддалі від неї досягає початкових значень. На навітряній стороні споруд створюються



зони надлишкового тиску, а на завітраних – зони пониженого тиску. Крім того, над промисловим майданчиком або містом виникають висхідні потоки повітря за рахунок дії сили плавучості.

Вплив рельєфу місцевості на значення максимальної приземної концентрації від одинарного точкового джерела враховується безрозмірним коефіцієнтом  $\eta$  в формулах. Значення даного коефіцієнта встановлюється на основі аналізу картографічного матеріалу рельєфу місцевості в радіусі до 50 висот найбільш високого з джерел, але не менше ніж до 2 км.

Якщо в околицях даного джерела викиду можна виділити окремі ізольовані перепони, що витягнуті в одному напрямку, (гряди, гребінь, улоговину, уступ), то поправочний коефіцієнт на рельєф  $\eta$  розраховується за формулою



$$\eta = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \quad (5.27)$$

$$\eta = 1 + \varphi_1(\eta_m - 1), \quad (5.28)$$

де  $\eta_m$  – визначається залежно від форм рельєфу та безрозмірних величин  $n_1 = H/h_0$ ,  $n_2 = a_0/h_0$  ( $n_1$  визначається з точністю до десятих, а  $n_2$  – з точністю до цілих). Тут  $H$  – висота джерела,  $h_0$  – висота (глибина) перепони,  $a_0$  – півширина гряди, пагорба, улоговини або протяжність бокового схилу виступу,  $x_0$  – віддаль від середини перепони або джерела. Значення  $\varphi_1$  визначається в залежності від співвідношення  $|x_0|/a_0$ , що відповідають різним формам рельєфу. Якщо джерело розташовано на верхньому плато уступу, то як аргумент функції  $\varphi_1$  замість  $|x_0|/a_0$ , приймається  $-x_0/a_0$ .

Якщо перепони являють собою улоговини, що витягнуті в одному напрямку, значення  $h_0$ ,  $a_0$  визначаються для поперечного розрізу, перпендикулярного цьому напрямку. Якщо ізольована перепона являє собою окремий пагорб (улоговину), то  $h_0$  визначається таким, що відповідає максимальній



Таблиця 5.6

Вплив рельєфу на розсіювання домішок

| $n_1$   | Улоговина |     |       |       | Уступ |     |       |       | Пагорб |     |       |       |
|---------|-----------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|--------|-----|-------|-------|
|         | $n_2$     |     |       |       |       |     |       |       |        |     |       |       |
|         | 4-5       | 6-9 | 10-15 | 16-20 | 4-5   | 6-9 | 10-15 | 16-20 | 4-5    | 6-9 | 10-15 | 16-20 |
| <0,5    | 4,0       | 2,0 | 1,6   | 1,3   | 3,5   | 1,8 | 1,5   | 1,2   | 3,0    | 1,5 | 1,4   | 1,2   |
| 0,6-1   | 3,0       | 1,6 | 1,5   | 1,2   | 2,7   | 1,5 | 1,3   | 1,2   | 2,2    | 1,4 | 1,3   | 1,0   |
| 1,1-2,9 | 1,8       | 1,5 | 1,4   | 1,1   | 1,6   | 1,4 | 1,2   | 1,1   | 1,4    | 1,3 | 1,2   | 1,0   |
| 3-5     | 1,4       | 1,3 | 1,2   | 1,0   | 1,3   | 1,2 | 1,1   | 1,0   | 1,2    | 1,2 | 1,1   | 1,0   |
| > 5     | 1,0       | 1,0 | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0 | 1,0   | 1,0   | 1,0    | 1,0 | 1,0   | 1,0   |

(мінімальній) відмітці перепони, а  $n_2$  – максимальній крутизні схилу, поверненого до джерела викиду.

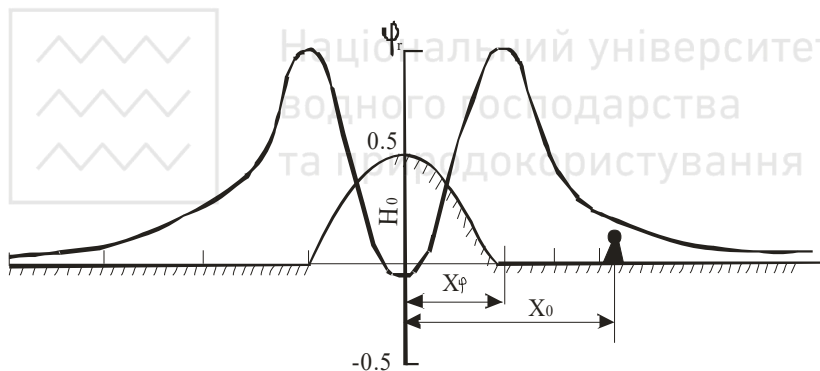


Рис. 5.5. Вплив рельєфу на розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Для джерел викиду, розташованих в зоні викиду декількох ізольованих перепон, визначаються значення  $\eta$  для кожної перепони та використовується максимальне з них.

Врахування впливу рельєфу місцевості при визначенні віддалі, де досягається максимум приземної концентрації, здійснюється шляхом множення коефіцієнта  $d$  у формулі (1) на відношення:





$$\frac{1,1}{\sqrt{\eta + 0,2}} \quad (5.29)$$

Розрахунок приземної концентрації по осі факела на різних віддалях від джерела здійснюється за формулою (5.8). При цьому для віддалей  $x$  від джерела, що задовольняють нерівності  $x < 6,2 x_m \sqrt{\eta - 1}$  (тут  $x_m^0$  – значення  $x_m$  для розглянутого джерела в умовно рівній або слабо пересічній місцевості, тобто при  $\eta = 1$ ), відношення  $x/x_m$  визначається з використанням  $x_m$ , що вираховується у відповідності з попереднім пунктом.

Значення небезпечної швидкості вітру  $u_m$  (м/с) на рівні флюгера (як правило 10м від поверхні землі), при якій досягається найбільше значення приземної концентрації шкідливих речовин  $c_m$ , у випадку  $f < 100$  визначається за формулою

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m \leq 0,5, \quad (5.30)$$

$$u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2, \quad (5.31)$$

$$u_m = v_m (1 + 0,12 \sqrt{f}) \text{ при } v_m > 2. \quad (5.32)$$

При  $f \geq 100$  або  $\Delta T \approx 0$  (холодні викиди) значення  $u_m$  розраховується за формулами:

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m' \leq 0,5, \quad (5.33)$$

$$u_m = v_m' \text{ при } 0,5 < v_m' \leq 2, \quad (5.34)$$

$$u_m = 2,2 v_m' \text{ при } v_m' > 2. \quad (5.35)$$

При практичному застосуванні наведених формул слід визначити несприятливі умови, коли при нормальному метеорологічному режимі можуть досягатись максимальні концентрації домішок в районі розглянутого джерела. Спочатку потрібно встановити напрями вітру, при яких факел від джерела може досягати жилих районів, а також на лікувальні та дитячі заклади. Потім необхідно знайти значення небезпечної



швидкості вітру за формулою (5.23), а у випадку холодних викидів – за формулою (5.22).

Для потужних нагрітих викидів, характерних для теплових електростанцій, металургійних заводів як правило  $u_m=3-5$  м/с, для порівняно холодних викидів від вентиляційних установок на хімічних та інших підприємствах  $u_m = 1-2$  м/с.

Віддаль  $x_m$  (м) від джерела викиду, на якій приземні концентрації  $c$  (мг/м<sup>3</sup>) при несприятливих метеорологічних умовах досягають максимуму, знаходять за формулою

$$x_m = \frac{5-F}{4} dH, \quad (5.36)$$

де безрозмірний коефіцієнт  $d$  при  $f < 100$  розраховується:

$$d = 2,48 (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } v_m \leq 0,5, \quad (5.37)$$

$$d = 4,95 v_m (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2, \quad (5.38)$$

$$d = 7 \sqrt{v_m} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } v_m > 2. \quad (5.39)$$

При  $f > 100$  або  $\Delta T \approx 0$  (холодні викиди) значення  $d$  знаходять за формулами

$$d = 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5, \quad (5.40)$$

$$d = 11,4 v'_m, \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2, \quad (5.41)$$

$$d = 16 \sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2. \quad (5.42)$$

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини  $c_{mi}$  (мг/м<sup>3</sup>) при несприятливих метеорологічних умовах та швидкості вітру  $u$  (м/с), що відрізняється від небезпечної швидкості вітру  $u_m$  (м/с), визначається за формулою



$$C_{mi} = r c_m, \quad (5.43)$$

де  $r$  – безрозмірна величина, що визначається в залежності від співвідношення  $u/u_m$  за формулами

$$r = 0,67 (u/u_m) + 1,67 (u/u_m)^2 - 1,34 (u/u_m)^3 \quad \text{при } u/u_m \leq 1, \quad (5.44)$$

$$r = \frac{3u/u_m}{2(u/u_m)^2 - (u/u_m) + 2} \quad \text{при } u/u_m > 1. \quad (5.45)$$

При проведенні розрахунків не використовуються значення вітру  $< 0,5$  м/с, а також швидкості вітру  $u > u^*$ , де  $u^*$  – значення швидкості вітру, що перевищує середньо багаторічну в даній місцевості в 5% випадків.

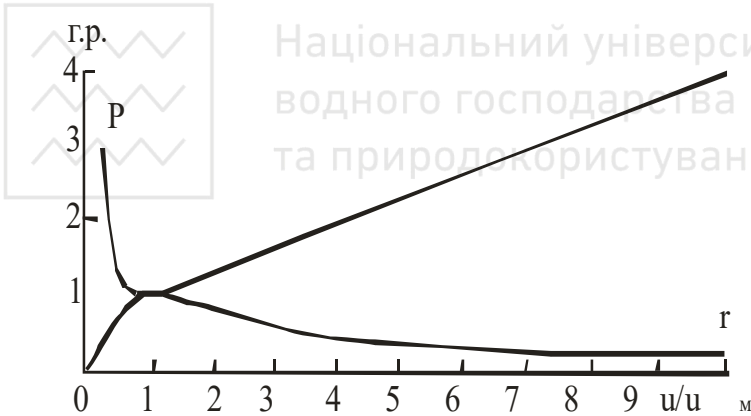


Рис. 5.6. Визначення безрозмірного коефіцієнта  $r$  залежно від співвідношення  $u/u_m$

Віддаль від джерела викиду  $x_{mi}$  (м), на якій при швидкості вітру  $u$  та несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація шкідливих речовин досягає максимального значення  $c_{mi}$  (мг/м<sup>3</sup>), визначається за формулою

$$x_{mi} = \rho x_m, \quad (5.46)$$



де  $\rho$  – безрозмірний коефіцієнт, який визначається залежно від співвідношення  $u/u_m$  за формулами або за рис. 5.6:

$$\rho = 3 \quad \text{при } u/u_m \leq 0,25, \quad (5.47)$$

$$\rho = 8,43 (1 - u/u_m)^5 + 1 \quad \text{при } 0,25 < u/u_m \leq 1, \quad (5.48)$$

$$\rho = 0,32 u/u_m + 0,68 \quad \text{при } u/u_m > 1. \quad (5.49)$$

### **5.2.3. Розрахунок розсіювання домішок в приземному шарі**

Серед завдань з метеорологічних аспектів забруднення атмосфери великого значення набувають дослідження та моделювання закономірностей поширення атмосферних домішок та особливостей їх просторово-часового розподілу. Вони є основою для об'єктивної оцінки стану та тенденцій зміни забруднення повітряного басейну, а також розробки можливих заходів по забезпеченню чистоти атмосфери. Очевидно, що і вирішення питання про нормування шкідливих викидів безпосередньо залежить від врахування умов їх розсіювання в атмосфері.

Для ілюстрації розсіювання домішок розглянемо спочатку відносно просту ситуацію, коли є факел домішок тільки від однієї труби (тобто припідняте джерело безперервної дії).

Першою важливою характеристикою є висота джерела. При інших рівних умовах, чим вище буде розташовано джерело, тим менша буде концентрація домішок біля землі у підвітряному секторі, оскільки домішки довше будуть розсіюватись за рахунок турбулентної дифузії. Тому високі труби можна використовувати для зменшення забруднення областей поблизу джерел домішок. Ефективна висота джерела збільшується, якщо домішки викидаються з великою швидкістю та їх температура значно вище температури довкілля, що обумовлює виникнення сили плавучості. Факел підіймається в цих умовах високо над трубою, і тільки потім вигинається і



втягується за напрямом вітру (рис. 5.7).

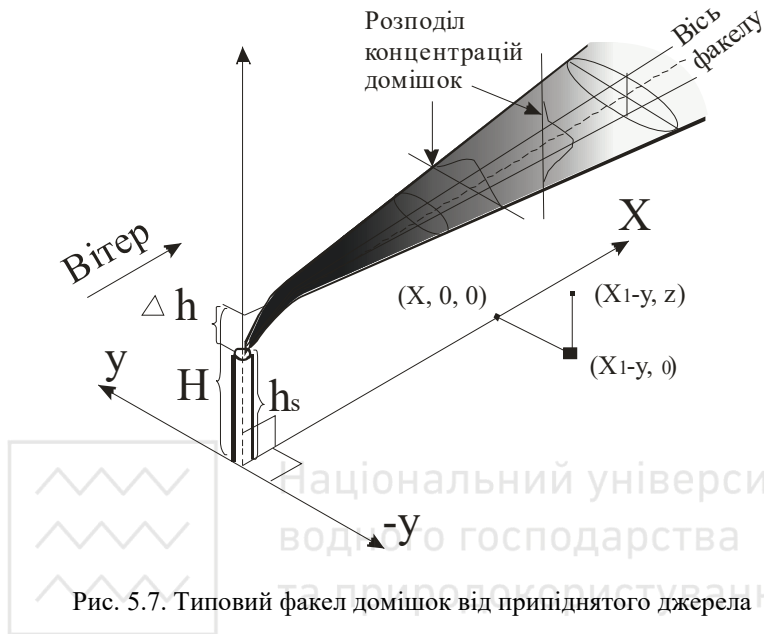


Рис. 5.7. Типовий факел домішок від припіднятого джерела

Ефективна висота труби  $H$  визначається як сума її геометричної висота з додаванням додаткової висоти за рахунок підйому факела. Таким чином, ефективна висота  $H$  залежить від розмірів труби (висоти та діаметра вихідного отвору), стану домішок (її температура та інтенсивність викидів) та переважаючих метеорологічних умов (швидкості вітру та вертикального градієнта температури). Неметеорологічні параметри задаються при будівництві труби. При збільшенні швидкості вітру висота підйому факела зменшується і він сильніше втягується за вітром. Вертикальний градієнт температури суттєвий тому, що нестійка стратифікація сприяє підйому факела, а інверсійна його затримує.

Після початкового підйому форма факела за напрямом вітру визначається значною мірою переважаючою структурою турбулентності. Використовуючи стійкість нижнього шару атмосфери як непряму характеристику турбулентності, можна



розбити найбільш типові форми факелів на п'ять основних груп, зображених на рис. 5.8.

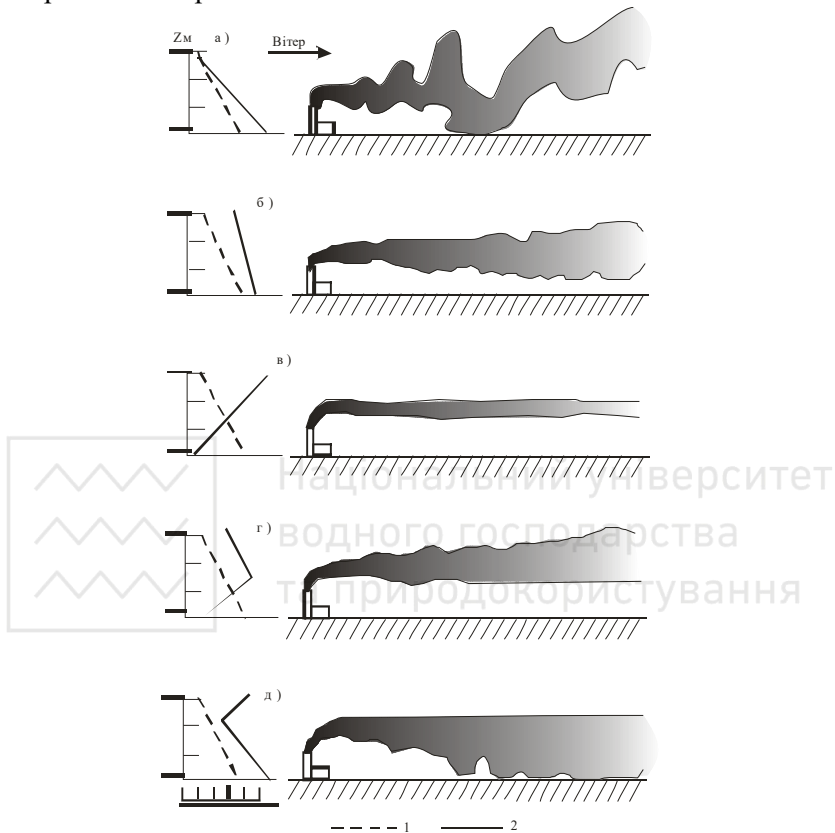


Рис. 5.8. Характерні форми факела при різній стійкості атмосфери: хвилеподібна (а); конусоподібна (б); віялоподібна (в); надінверсійна (г); підінверсійна (д): 1 і 2 – відповідно сухоадіабатичний та реальний градієнти температури

*Хвилеподібна форма.* Характерна для безхмарних літніх днів при нестійкій стратифікації атмосфери. В прикордонному шарі переважають відносно великі завихрення, зумовлені вільною конвекцією. Оскільки розміри завихрень більші діаметра факела, їх вплив в основному полягає в тому, що вони



або піднімають, або опускають факел, надаючи йому хвилеподібної форми. При такому нестійкому переносі факел з домішками досягає поверхні землі недалеко від джерела викиду, де миттєво виникає велика концентрація забруднювачів. Розмивання факела зумовлено впливом дрібних завихрень, які «роз'їдають» краї факела. Інтенсивність дифузії залежить від швидкості вітру та шорсткості поверхні.

*Конусоподібна форма.* Трапляється в будь-яку пору року. Вона характерна для вітряної хмарної погоди при термічній стратифікації атмосфери, близькій до нейтральної. При відсутності сил плавучості турбулентний обмін здійснюється переважно невеликими завихреннями

примусової конвекції. Розширення факела відбувається приблизно з однаковою інтенсивністю по вертикалі та по горизонталі, так, що він набирає форми конуса, симетричного відносно центральної осі. Оскільки діаметр конуса росте тільки за рахунок дифузії, а вертикальний перенос ослаблений, факел досягає земної поверхні на великих відстанях від джерела викиду в порівнянні з попереднім випадком.

*Віялоподібна форма.* Характерна для дуже стійкої атмосфери (тобто при наявності інверсії). Ідеальними умовами для утворення факела віялоподібної форми є антициклонна погода, особливо вночі. В цей час турбулентність ослаблена або майже відсутня. Стійко стратифіковане повітря перешкоджає будь-яким висхідним рухам повітря навіть при дуже слабкому вітрі. Внаслідок нерозвинутої вертикальної дифузії факел залишається відносно тонким, а через нестійкість напряду вітру він набирає V-подібної форми (коли дивитись зверху). Іноді факел в цих умовах виглядає як пряма стрічка і може зберігатись без значних змін до віддалі приблизно 100 км від джерела викиду. Оскільки відсутній вертикальний перенос, то концентрація домішок біля поверхні землі на цій відстані близька до нуля, якщо труба не дуже низька і якщо на підвітряній стороні немає ніяких змін рельєфу, при яких факел змінив би свою форму. Ця форма факела як правило передують потенційно більш небезпечній підінверсійній формі.

*Надінверсійна форма.* Відповідає найбільш сприятливим умовам для розсіювання домішок. Така форма характерна для



раннього вечора, коли біля поверхні землі встановлюється інверсія радіаційного охолодження. Стійка стратифікація повітря перешкоджає поширенню домішок в нижні шари, а помірно нестійка стратифікація верхніх шарів сприяє дифузії забруднення вгору. На жаль, такі умови існують не довго тому, що як тільки межа приземної інверсії стане вище ефективної висоти труби, факел набуде віялоподібної форми.

*Підінверсійна форма.* В цьому випадку інверсія розташована над факелом і перешкоджає поширенню домішок у верхні шари, в той час як внизу повітря стратифіковано нестійко, що сприяє активному перемішуванню та перенесенню домішок до поверхні землі. Ця несприятлива ситуація може виникнути різними шляхами. Наприклад, в сільській місцевості вона можлива після сходу сонця, коли нічна інверсія починає руйнуватись теплом від земної поверхні. Можна припустити, що протягом попередньої ночі факел мав віялоподібну форму і зберігав її до того часу, поки шар перемішування не досяг рівня факела, після чого домішки стали виноситись вниз низхідними потоками повітря. Починаючи з цього моменту на рівні землі виникають відносно високі концентрації домішок вздовж лінії, що відповідає осі факела. Така ситуація може існувати біля 30 хв. на ділянці протяжністю в багато кілометрів. Яскравий приклад такого явища спостерігався в долині річки біля м. Трейла (Британська Колумбія). Заводи з виплавки свинцю та цинку, розташовані в глибокій гірській долині, викидали в атмосферу великі кількості  $SO_2$ . Як було встановлено, протягом ночі домішки переносились вниз до долині локальним вітром, а існуюча там радіаційна інверсія перешкождала забрудненню приземного шару повітря. Після сходу сонця тепло від схилів та дна долини зруйнувало інверсію, що викликало раптове забруднення повітря на віддалі до 55 км від джерела викиду.

Розглянемо випадки, коли чотири з названих вище форм факела можуть існувати одночасно. Наприклад, віялоподібний факел від джерела, розташованого в нічному стійко стратифікованому повітрі сільської місцевості, надходить в приграничний шар над містом з інтенсивнішою турбулентністю через наявність островів тепла та більшої шорсткості земної поверхні, яка створюється будівлями. При цьому факел набуває





підінверсійної форми та посилюється домішками від міських джерел викидів. В той же час підстилаюча поверхня сільської місцевості «захищена» від забруднення шаром стійко стратифікованого повітря.

При небезпечній швидкості вітру  $u_m$  приземна концентрація шкідливих речовин  $C$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) в атмосфері по осі факелу викиду на різних відстанях  $x$  (м) від джерела викиду визначається за формулою

$$C = s_1 \cdot c_m, \quad (5.50)$$

де  $s_1$  – безрозмірний коефіцієнт, що визначається залежно від співвідношення  $x/x_m$  та коефіцієнта  $F$  за формулами:

$$s_1 = 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2 \text{ при } x/x_m \leq 1, \quad (5.51)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13(x/x_m)^2 + 1} \text{ при } 1 \leq x/x_m \leq 8, \quad (5.52)$$

$$s_1 = \frac{x/x_m}{3,58(x/x_m)^2 - 35,2(x/x_m) + 120} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ та } x/x_m > 8, \quad (5.53)$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1(x/x_m)^2 + 2,47(x/x_m) - 17,8} \text{ при } F > 1,5 \text{ та } x/x_m > 8. \quad (5.54)$$

Для низьких та наземних джерел (висотою  $H$  не більше 10 м) при значеннях  $x/x_m < 1$  величина  $s_1$  в заміняється на величину  $s_1^H$ , що знаходиться в залежності від  $x/x_m$  та  $H$  за формулою або за рис. 5.10:

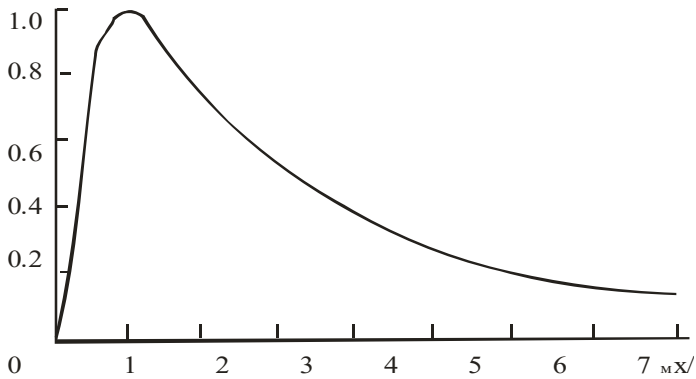


Рис. 5.9. Визначення величини  $s_I$  за допомогою графіка

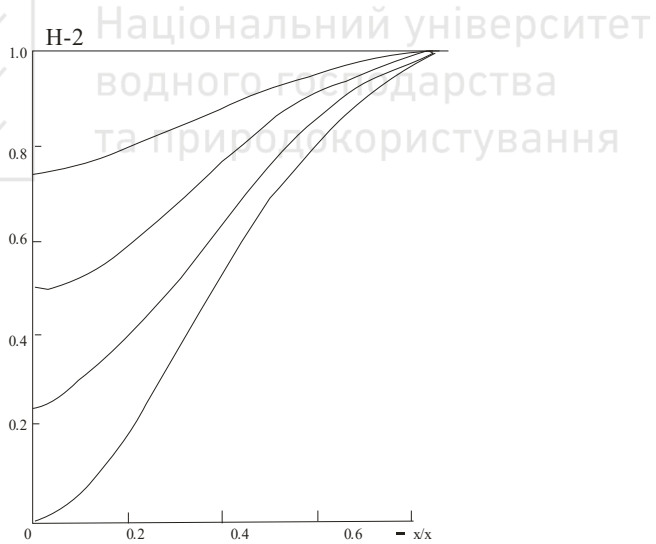


Рис. 5.10. Визначення величини  $s_I^H$ , що знаходиться в залежності від  $x/x_M$

$$s_I^H = 5(10-H) + 0,125(H-2)s_I \text{ при } 2 \leq H < 10. \quad (5.55)$$



Визначення доцільності проведення розрахунку розсіювання забруднюючих речовин на ЕОМ проводиться відповідно до вимог пункту 5.21 ОНД-86 [52].

Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери проводиться для розрахункового прямокутника, розміри якого залежать від розміру й форми промайданчика, параметрів джерел викидів і розміру нормативної санітарно-захисної зони.

Розмір розрахункового прямокутника повинен бути не меншим за 50 висот найвищого джерела викидів (але не меншим за 2 км) або визначатися відповідно до п. 2.19 ОНД-86 згідно з ДСП-201-97 [52; 60].

Результати розрахунків варто наносити на карту з координатною сіткою із кроком, залежно від класу підприємства:

|           |   |       |
|-----------|---|-------|
| 1, 2 клас | – | 250 м |
| 3 клас    | – | 100 м |
| 4 клас    | – | 50 м  |
| 5 клас    | – | 25 м  |

За результатами розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на ЕОМ визначається перелік джерел викидів, внесок яких в рівні забруднення приземного шару в якій-небудь точці за межею промислової площадки становить більше 0,1 ГДК.

Розрахунки розсіювання забруднюючу атмосферу речовин за програмами, затверджених в Україні, допускають коригування розміру санітарно-захисної зони, з урахуванням небезпечного напрямку вітру.

У разі великого розрахункового майданчика та маленького кроку сітки, доцільно проведення розрахунків розсіювання забруднюючих речовин на ЕОМ за 2-ми розрахунковими майданчиками:

- оціночний – розміром 50 висот самої високої труби, але не менше ніж 2 км, з кроком сітки, яка дорівнює розміру санітарно – захисної зони;
- розрахунковий – розміром не менше 2-х кратного розміру нормативної санітарно – захисної зони та кроком сітки



залежно від класу підприємства (для високих джерел – розмір розрахункового майданчика повинен бути не менше 20 висот найвищого джерела викиду).

При опублікуванні результатів проведених розрахунків забруднення атмосфери на ЕОМ, таблиця за результатами розрахунку концентрацій у заданих точках розрахункового майданчика подається за такими речовинами або групами сумачій, максимальна концентрація яких перевищує 0,4 ГДК.

Розрахунки розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на ЕОМ проводяться:

- на існуючій період з метою визначення зони впливу джерел даного підприємства;

- на період поетапного зниження викидів забруднюючих речовин (тривалість кожного етапу та необхідне зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин на кожному етапі встановлюються територіальними органами Міндовкілля України за погодженням з установами державної санітарно-епідеміологічної служби);

- на період досягнення нормативів граничнодопустимих викидів з урахуванням природоохоронних заходів для їх досягнення.

У переліку заходів щодо скорочення викидів забруднюючих речовин зазначаються такі заходи:

- заходи щодо досягнення встановлених нормативів гранично допустимих викидів для найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин;

- заходи щодо запобігання перевищенню встановлених нормативів граничнодопустимих викидів у процесі виробництва;

- заходи щодо обмеження обсягів залпових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря;

- заходи щодо остаточного припинення діяльності, пов'язаної з викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря, та приведення місця діяльності у задовільний стан;

- заходи щодо охорони атмосферного повітря на випадок виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, ліквідації наслідків забруднення атмосферного повітря;



- заходи щодо охорони атмосферного повітря при несприятливих метеорологічних умовах;
- інші заходи, спрямовані на скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, залежно від виробництва, технологічного устаткування.

Заходи щодо охорони атмосферного повітря при несприятливих метеорологічних умовах здійснюються відповідно до вимог Методичних вказівок «Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях» (РД 52.04.52-85), затверджених Державним комітетом СРСР з гідрометеорології та контролю природного середовища 01.12.86, для об'єктів, які розташовані в населених пунктах, де Державною гідрометеорологічною службою України проводиться або планується проведення прогнозування несприятливих метеорологічних умов [61].

Розрахунки забруднення атмосфери при викидах газоповітряної суміші із джерела з прямокутним (шахти) проводяться за наведеними вище формулами при середній швидкості  $\omega_0$  та значеннях  $D=D_e(M)$  та  $V_1=V_{1e}(m^3/c)$ . Середня швидкість виходу в атмосферу газоповітряної суміші  $\omega_0$  визначається за формулою

$$\omega_0 = \frac{V_1}{Lb}, \quad (5.56)$$

де  $L$  (м) – довжина устя;  $b$  – (м) ширина устя.

Ефективний діаметр устя  $D_e$  (м) розраховується за формулою

$$D_e = \frac{2Lb}{L+b}. \quad (5.57)$$

Ефективна витрата газоповітряної суміші, що виходить в атмосферу за одиницю часу,  $V_1$  ( $m^3/c$ ) знаходиться

$$V_{1e} = \frac{\pi D_e^2}{4} \omega_0. \quad (5.58)$$



Вирішення обернених завдань для визначення висоти  $H$ , що відповідає заданому рівню максимальної приземної концентрації  $c_m$  при інших фіксованих параметрах викиду, знаходиться таким чином, у випадку, якщо  $\Delta T \approx 0$ , то:

$$H = \left( \frac{AMFD\eta}{8V_1 c_m} \right)^{3/4}. \quad (5.59)$$

Для речовин, які при одночасному знаходженні в атмосферному повітрі підсилюють дію один одного, (ефект сумачії) безрозмірна концентрація  $q$  або приведена до однієї речовини сумарна концентрація  $c$  розраховується з використанням для кожного джерела значень потужності  $M_q$  або  $M$  відповідно:



$$M_q = \frac{M_1}{ГДК_1} + \frac{M_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{M_n}{ГДК_n}, \quad (5.60)$$

$$M = M_1 + M_2 \frac{ГДК_1}{ГДК_2} + \dots + M_n \frac{ГДК_1}{ГДК_n}, \quad (5.61)$$

де  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – потужності кожної з  $n$  речовин;  $ГДК_1, ГДК_2, \dots, ГДК_n$  – максимальні разові гранично допустимі концентрації цих речовин.

#### 5.2.4. Фонове забруднення атмосфери

Внаслідок інтенсивного розвитку промисловості та транспорту та зростання викидів шкідливих речовин в атмосферу значно розширились зони поширення атмосферних домішок. В результаті вже тепер склались та поступово збільшуються глобальні та регіональні рівні фонового забруднення антропогенного походження. Ці рівні значно нижчі ГДК для населених міст (на 2–3 порядки та більше). Але при вивченні великомасштабних ефектів забруднення атмосферного повітря крім ГДК слід не тільки враховувати інші екологічні



критерії, але і оцінювати антропогенний вплив на атмосферу, в тому числі вплив окремих домішок (насамперед діоксиду вуглецю та аерозолів) на клімат.

*Фонова концентрація* – статистично достовірною максимальною концентрацією,  $c_f$ , мг/м<sup>3</sup>. Вона є характеристикою забруднення атмосфери та визначається як значення концентрації, яке перевищується не більше ніж в 5% випадків від загальної кількості спостережень.

Фонова концентрація характеризує сумарну концентрацію, створену всіма джерелами, що розташовані на даній території.

При відсутності необхідних спостережень фонова концентрація може бути визначена розрахунковим шляхом. Визначення  $c_f$  для кожного поста спостережень відбувається за даними за період від 2 до 5 років.

*Визначення величини фонові концентрації* на всіх постах міста однієї забруднювальної речовини виконується за даними спостережень за один і той самий період.

Нині діє глобальна система моніторингу довкілля (ГСМНС) і відповідна програма, розроблена з метою оцінки великомасштабних ефектів дії забруднюючих речовин на клімат, озоновий шар, біоту та на тенденції забруднення довкілля в мезо- макромасштабі. Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) створила мережу станцій моніторингу за фоновим забрудненням атмосфери.

Базові станції розташовуються в місцях з чистим повітрям, де в найближчі 50 років не очікується збільшення числа та потужності джерел викидів шкідливих речовин. На цих станціях проводяться спостереження за вмістом в атмосферному повітрі діоксидів сірки та азоту, пилу, озону, сполук вуглецю, за хімічним складом опадів а також актинометричні спостереження.

На фонових станціях вимірюються порівняно низькі рівні забруднення повітря. Регіональні станції служать для оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря в районах, які зазнають антропогенного тиску і розташовуються в основному на відстанях не менше 100 км від міст, в яких немає значних джерел забруднення.



Одним з важливих результатів спостережень на фонових станціях є висновок про значну кислотність опадів в ряді географічних областей. Зростаючі темпи індустріалізації та рівнів забруднення атмосфери зумовлюють зміни хімічного складу дощів, які випадають як поблизу промислових центрів, так і на значних віддальх від джерел викидів.

Фонові концентрації забруднюючих речовин мають добові та сезонні коливання. Як правило, максимальна концентрація діоксидів сірки та азоту спостерігається в ранковій годині, а в сезонному ході максимум концентрації спостерігається взимку за рахунок збільшення дії антропогенних джерел.

Результати вимірювань концентрації озону свідчать про його змінність залежно від широти та сезону, а також від можливих джерел антропогенного походження. Мінімальний вміст озону в приземному шарі повітря спостерігаються в районі екватора, потім в помірних широтах північної півкулі він поступово зростає і в полярних областях знову зменшується. В сезонному ході максимум концентрації спостерігається весною та влітку, мінімум – восени та взимку. В районах з значними джерелами оксидів азоту та вуглеводнів реєструється більш високий вміст озону в повітрі. В добовому ході максимум концентрації озону спостерігається вдень, а мінімум – вночі та в передранковий час.

*Методика визначення величин фонових концентрацій за даними спостережень на стаціонарних постах.* Для визначення фонові концентрації беруться тільки статистично і кліматологічно однорідні ряди спостережень за період, протягом якого було дотримано таких умов:

- не змінювалися методики відбору та аналізу проб атмосферного повітря;
- не змінювалися (або змінювалось не більше ніж на 0,5 км) місцезнаходження поста, за даними якого визначався фон;
- суттєво не змінювався характер забудови поблизу поста (у радіусі 50 м);
- суттєво не змінювались характеристики викидів джерел забруднення, розташованих у радіусі до 5 км від поста (для





особливо великих підприємств ця відстань може бути збільшена місцевими організаціями гідрометеослужби Міндовкілля України за погодженням з територіальними організаціями Держпродспоживслужби).

Визначення величини фонові концентрації на всіх постах міста однієї забруднювальної речовини виконується за даними спостережень за один і той самий період.

Значення метеорологічних параметрів для визначення величини фонові концентрації встановлюються за матеріалами спостережень з метеорологічної станції, яка є репрезентативною для міста в цілому (населеного пункту), що розглядається.

Визначення величини фонові концентрації проводиться за п'ятьма градаціями напрямку і швидкості вітру: швидкість 0,1–0,2 м/сек – при будь-якому напрямку, швидкість 3 м/сек і більше – при північному, східному, південному і західному напрямках.

За величину фонові концентрації  $i$ -ї речовини  $C_{\phi i}$  (мг/м<sup>3</sup>) береться середнє багаторічне значення концентрацій з даних спостережень забруднення атмосферного повітря, виключаючи 5% найбільших значень.

Для визначення  $C_{\phi}$  використовуються дані спостережень за останні три роки (не менше 600 проб за кожною речовиною на кожному посту).

Для кожної з п'яти вказаних вище градацій обчислюються:

- середня багаторічна концентрація  $i$ -ї речовини

$$\bar{q}_{bi} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} = \frac{\sum_{m=1}^M (q_r N_m)}{\sum_{m=1}^M N_m}, \quad (5.62)$$

де  $q_i$  – середньомісячна концентрація;  $q_r$  – разова концентрація;  $n$  – кількість значень разових або середньодобових концентрацій за  $M$  років;



$$n = \sum_{m=1}^M N_m, \quad (5.63)$$

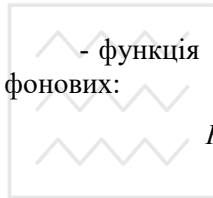
де  $N_m$  – кількість значень разових або середньодобових концентрацій за  $m$ -й рік;

- середнє квадратичне відхилення

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^n (q_l - \bar{q}_{bi})^2}{n-1}}; \quad (5.64)$$

- коефіцієнт варіації:

$$V_1 = \frac{S_i}{\bar{q}_{bi}}; \quad (5.65)$$



- функція переходу від середніх концентрацій до фонових:

$$F(V_{ij}) = \frac{1}{1+V_i^2} \exp(1,645\sqrt{\ln(1+V_i^2)}). \quad (5.66)$$

Для практичних розрахунків значення функції  $F(V_{ij})$  може бути визначено за графіком.

- значення фонових концентрацій для кожної  $j$ -ї градації швидкості та напрямку вітру для  $i$ -ї речовини розраховується за формулою:

$$C_{\phi ij} = \bar{q}_{bi} F(V_{ij}). \quad (5.67)$$

Після розрахунку величини фонові концентрації для кожної градації швидкості і напрямку вітру проводиться оцінка значущості відмінностей  $\bar{C}_{\phi ij}$ .

Для цього розраховують величини  $\bar{C}_{\phi i}$  (середня за усіма п'ятьма градаціями) і  $\tilde{C}_{\phi i}$  середня за чотирма градаціями (без градації швидкості вітру 0–2 м/сек)



$$\overline{C_{\phi i}} = \frac{\sum_{j=1}^5 C_{\phi ij} n}{\sum_{j=1}^5 n}; \quad (5.68)$$

$$\tilde{C}_{\phi} = \frac{\sum_{j=1}^4 C_{\phi ij} n}{\sum_{j=1}^4 n}. \quad (5.69)$$

Якщо за даними спостережень на посту з'ясується, що максимальне і мінімальне значення  $C_{\phi ij}$ , вибрані з  $\overline{C_{\phi}}$  для п'яти градацій, задовольняють умові  $|C_{\phi ij} - \overline{C_{\phi}}| \leq 0,25\overline{C_{\phi}}$ , тоді для цього посту за  $C_{\phi ij}$  приймається  $\overline{C_{\phi}}$  незалежно від швидкості та напрямку вітру.

Якщо за даними спостережень на посту з'ясувалось, що умова не виконується, але для різних градацій напрямку вітру виконується умова

$$|C_{\phi ij} - \tilde{C}_{\phi}| \leq 0,25\tilde{C}_{\phi},$$

то для даного поста за  $C_{\phi ij}$  беруться два значення фонові концентрації. Перше для градації швидкості вітру 0–2 м/сек, а друге – для швидкості вітру 3 м/сек і більше без урахування напрямку вітру.

Для врахування сумарної шкідливої впливу декількох забруднювальних речовин дозволяється визначення єдиного значення фонові концентрації  $C_{\phi}$  для всіх речовин.

При цьому для кожного поста спостережень та за однакові терміни спостережень концентрації  $m$  речовин приводяться згідно з ОНД-86 до концентрації найбільш розповсюдженої однієї з цих речовин. Наприклад, у випадку сумарної дії концентрацій діоксиду сірки  $SO_2$  і діоксиду азоту  $NO_2$  приведена концентрація визначається за формулою:



$$q_{SO_2+NO_2} = q_{SO_2} + q_{NO_2} \frac{ГДК_{SO_2}}{ГДК_{NO_2}}, \quad (5.70)$$

де  $ГДК_{SO_2}$  і  $ГДК_{NO_2}$  – максимальні разові гранично допустимі концентрації цих речовин.

Подальша обробка виконується так, як і у випадку однієї речовини.

У ряді випадків виникає потреба визначення величини фонові концентрації при відсутності даних спостережень для околиць міст, приміських зон за межами зони спостережень в місті (екстрапольоване значення фонові концентрації) чи в межах зон спостережень на ділянках міських територій, які розташовані на великих відстанях від постів (інтерпольоване значення фонові концентрації), а також для міст, де спостереження не проводяться.

При виконанні розрахунку величини фонові концентрації при кількості постів, яке відповідає ГОСТу 17.2.3.01-86 «Правила контролю качества воздуха населенных пунктов», інтерполяція і екстраполяція величини фонові концентрації здійснюються з використанням такого алгоритму [51]. Насамперед визначається «центр ваги» мережі постів спостережень, тобто точка, координати якої є середнім арифметичним із відповідних координат постів спостережень. Потім знаходиться пост, максимально віддалений від центру ваги (відстань між постом і центром ваги позначається  $R$ ), і з «центру ваги» проводиться коло радіусом  $1,1R$ . У середині кола інтерполяція фонові концентрації проводиться за формулою

$$C_{\phi} = \frac{\sum C_{\phi k} / r_k}{\sum 1 / r_k}, \quad (5.71)$$

де  $C_{\phi k}$  і  $C_{\phi}$  – фонові концентрації на  $k$ -му посту спостережень і в точці, що розглядається (для відповідної градації швидкості і напрямку вітру);  $r_k$  – відстань від точки, що розглядається до  $k$ -го посту.

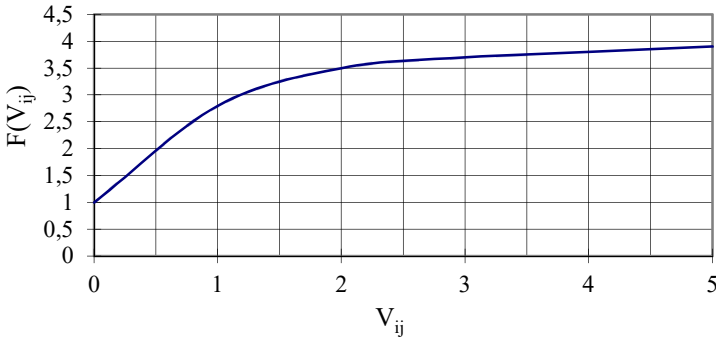


Рис. 5.11. Графік функції  $F(V_{ij})$  для визначення фонові концентрації  $C_\phi$



Поза колом проводиться екстраполяція за формулою

$$C_\phi = \frac{\sum C_{\phi k} / r_k}{\sum 1/r_k} + C(1 - 1,1 \frac{R}{e^0}), \quad (5.71)$$

де  $r_k^0$  – відстань від  $k$ -го посту до точки перехрещення кола і прямої, яка з'єднує точку, що розглядається, з центром ваги;  $r^0$  – відстань від точки до центру ваги, а  $C$  – «приміській фон», згідно з [62].

Величини фонових концентрацій встановлюються для території зони впливу підприємства (об'єкта), вказаного у запиті, на основі даних спостережень, виконаних на найближчому до цієї території поста.

#### *Методика визначення величин фонових концентрацій за даними підфакельних спостережень*

Визначення величини фонові концентрації за даними підфакельних спостережень застосовується у тому випадку, коли підприємство, під факелом якого проведені спостереження,



є єдиним або основним джерелом забруднення атмосферного повітря даною речовиною на території, що розглядається.

Для визначення величин фонових концентрацій за даними підфакельних спостережень потрібно використати виявлені концентрації кожної з забруднювальних речовин не менше ніж за трирічний період (при загальній кількості не менше 200 на рік для кожної речовини на кожній відстані).

Максимальні достовірні концентрації кожної речовини на кожній відстані одержуються шляхом статистичної обробки виявлених концентрацій, що включає:

а) обчислення середньої арифметичної концентрації за формулою

$$C_i = \frac{C_{i1} + C_{i2} \dots C_{in}}{n}, \quad (5.72)$$

де  $n$  – число аналізів;  $C_{i1} + C_{i2} + \dots C_{in}$  – сума концентрацій  $i$ -х речовин, взятих для обробки аналізів.

При обчисленні слід вилучати 2% найбільших значень концентрацій.

б) обчислення квадратичного відхилення  $\sigma_i$  («сігма»)

$$\sigma_i = \frac{C_{i\max} + C_{i\min}}{K}; \quad (5.73)$$

де  $C_{i\max}$  – максимальна концентрація з усіх аналізів;  $C_{i\min}$  – мінімальна концентрація з усіх аналізів;  $K$  – коригувальний коефіцієнт, що визначається за графіком, який наведено на рис. 5.12.

в) обчислення коефіцієнта варіації

$$V_i = \frac{\sigma_i}{C_i}, \quad (5.74)$$

де  $\sigma_i$  – значення квадратичного відхилення;  $C_i$  – середня арифметична концентрація;

г) обчислення максимальної концентрації  $q_{mi}$  з імовірністю 98%



$$q_{mi} = a \cdot C_i, \quad (5.75)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що визначається за графіком, який наведено на рис. 5.13, залежно від величини коефіцієнта варіації ( $V_i$ );  $C_i$  – середня арифметична концентрація.

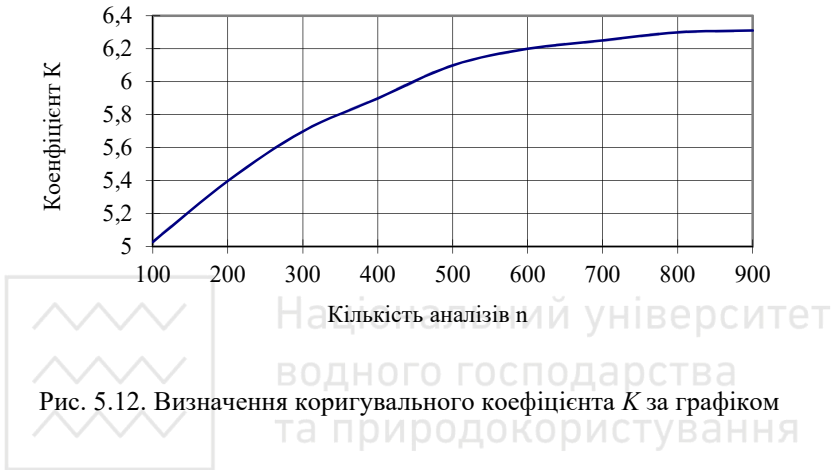


Рис. 5.12. Визначення коригувального коефіцієнта  $K$  за графіком

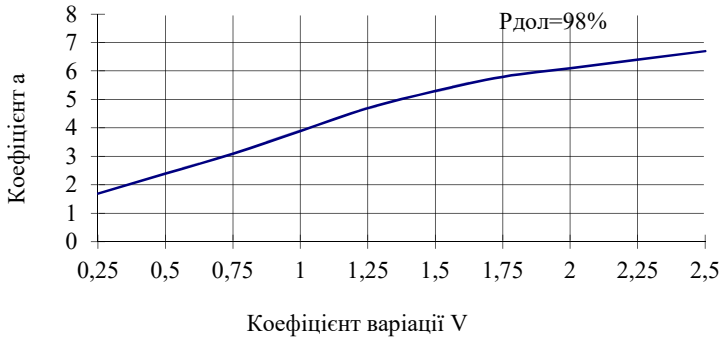


Рис. 5.13. Визначення коефіцієнта  $a$

Фонова концентрація визначається для кожної речовини на кожній відстані від підприємства за формулою



$$C_{фид} = 1,3q_{mi} P_d, \quad (5.76)$$

де  $P_d$  – середньобогаторічна повторюваність вітрів (у частках одиниці напрямків того румба, який відповідає переносу речовини від підприємства в цю точку) за даними спостережень метеостанції, яка є репрезентативною для даного населеного пункту в цілому;  $q_{mi}$  – максимальна достовірна концентрація у точці на відповідній відстані від підприємства.

Для напрямків вітру інших румбів фонові концентрації приймаються нульовою.

### *Визначення величин фонових концентрацій розрахунковим методом*

Визначення величин фонових концентрацій розрахунковим методом здійснюється у випадку, коли спостереження за концентраціями забруднювальних речовин не проводяться або проводяться в обсязі, недостатньому для визначення величин фонових концентрацій за експериментальними даними. Таке визначення величин фонових концентрацій складається з проведення розрахунків сумарного поля концентрацій від джерел викидів забруднювальної речовини і речовин, які спільно з нею мають властивість сумачії шкідливого впливу. Ці розрахунки виконуються за формулами ОНД-86 за допомогою програми розрахунку забруднення атмосфери.

Розрахунковому визначенню величин фонових концентрацій повинен передувати контроль достовірності (повноти) вихідних даних щодо параметрів викиду забруднювальної речовини в атмосферне повітря. При перевірці достовірності (повноти) даних інвентаризації викидів особливу увагу слід звернути на врахування вентиляційних і неорганізованих викидів, які для багатьох речовин в таких галузях, як хімічна, металургійна та інші, складають декілька десятків відсотків від загальних валових викидів підприємства. У зв'язку з тим, що ці викиди здійснюються поблизу земної поверхні, вони до відстані в декілька кілометрів від





підприємства відіграють вирішальну роль.

Для діючих підприємств, які здійснюють реконструкцію, технічне переобладнання, величина фонові концентрації визначається без врахування вкладу підприємства за формулами (5.77), (5.78) відповідно до ОНД-86 [52]. При цьому за фонову концентрацію приймається максимальна розрахункова концентрація  $C'_f$  кожного розрахункового прямокутника території міста в межах зони впливу підприємства.

$$C'_f = \frac{C_f}{10,4 \frac{C}{C_f}}, \text{ при } C < 2C_f, \quad (5.77)$$

$$C'_f = 0,2C_f, \text{ при } C > 2C_f, \quad (5.78)$$

де  $C'_f$  – значення фонові концентрації забруднювальної речовини, яке отримане без врахування вкладу підприємства, що розглядається;  $C$  – найбільше значення концентрації, яке створюється підприємством в точці розміщення поста, розраховане за формулою ОНД-86;  $C_f$  – значення фонові концентрації забруднювальної речовини, визначене з врахуванням вкладу підприємства, що розглядається за даними спостережень [52].

Розрахунок величин фонових концентрацій проводиться за допомогою комп'ютерних інформаційних технологій відповідно до вимог ОНД-86 за програмою, що погоджена Міндовкілля України, при заданих напрямках вітру для кожного розрахункового прямокутника [52]. Розрахункові прямокутники (центри квадратів) визначаються при побудові на карті-схемі міста розрахункової рівномірної мережі точок, які покривають його територію і знаходяться в центрах квадратів, сторона яких дорівнює 0,5-2 км (в залежності від площі населеного пункту). Кожній точці (розрахунковому прямокутнику) надається номер, відповідний числу кроків уздовж осі X та Y. Для кожної розрахункової точки (центру квадрату) обчислення повинні проводитись з урахуванням викидів усіх джерел при заданому напрямку вітру (для кожного з восьми румбів). Для кожної



точки береться найбільша виявлена концентрація. При цьому величина фонові концентрації визначається множенням концентрації  $C$  на коефіцієнт 0,4 з подальшим усередненням по території і напрямку вітру.

При розрахунку фонового забруднення з урахуванням викидів автотранспорту використовуються формули, які наведено в розділі 3 ОНД-86, для наземних лінійних джерел (потоків автомашин на вулицях) і формули, які наведено в розділі 5 ОНД-86, для наземних площинних джерел (при врахуванні викидів автотранспорту на окремих ділянках міста) та згідно з діючими методиками [52].

Розрахунки повинні бути оформлені в звіт за встановленою формою.

Звіт повинен містити пояснювальну записку, табличний і графічний матеріал та матеріали розрахунку забруднення атмосфери (далі – РЗА) на ЕОМ, які зведені в окремий том.

У пояснювальній записці до звіту наводяться:

- організація-розробник розрахункового фону та її реквізити (найменування, адреса, телефон);
- програма робіт;
- аналіз вихідних матеріалів інвентаризації джерел викидів;
- перелік підприємств, викиди яких ураховані в РЗА на ЕОМ;
- аналіз доцільності виконання РЗА на ЕОМ для всіх речовин, які розглядаються;
- методика виконання роботи з посиланням на довідкові матеріали та нормативні документи.

При визначенні величин фонових концентрацій розрахунковим методом необхідно використовувати достовірні і повні дані інвентаризації параметрів джерел викидів забруднювальних речовин з урахуванням вентиляційних та неорганізованих викидів. Параметрами викидів, які враховуються, є кількість та хімічний склад викидів, геометрична висота гирла джерела; швидкість виходу і об'єм газоповітряної суміші; характеристика гирла джерела (діаметр



круглого гирла, ширина та довжина прямокутного гирла; ступінь очистки газоочисних установок).

Для міст (з населенням до 250 тис. чоловік) та інших населених пунктів, у яких не проводяться регулярні спостереження за забрудненням атмосфери, у випадку відсутності значних промислових джерел викидів, беруться величини фонових концентрацій для основних загальнопоширених забруднювальних речовин, які наведено в табл. 5.7. Для інших забруднювальних речовин (при неможливості визначення величин фонових концентрацій розрахунковим способом) допускається обчислювати їх значення множенням коефіцієнта 0,4 на величину максимальної разової граничнодопустимої концентрації відповідної речовини.

Для підприємств розраховуються також величини фонових концентрацій  $C_{fn}$  на перспективу (прогнозний фон). Розрахунки перспективних величин фонових концентрацій по території проводяться з використанням необхідних параметрів для всіх джерел викидів, визначених у затвердженні проектах розвитку підприємств відповідної території.

Таблиця 5.7

Величини фонових концентрацій для основних загальнопоширених забруднювальних речовин

| Населення<br>(тис. осіб) | Забруднювальні речовини |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|--------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                          | Пил                     |                   | Діоксид азоту     |                   | Оксид вуглецю     |                   | Діоксид сірки     |                   |
|                          | мг/м <sup>3</sup>       | в долях ГДК м. р. | мг/м <sup>3</sup> | в долях ГДК м. р. | мг/м <sup>3</sup> | в долях ГДК м. р. | мг/м <sup>3</sup> | в долях ГДК м. р. |
| 125–250                  | 0,2                     | 0,4               | 0,03              | 0,35              | 1,5               | 0,3               | 0,1               | 0,2               |
| 50–125                   | 0,1                     | 0,2               | 0,015             | 0,17              | 0,8               | 0,16              | 0,05              | 0,1               |
| < 50                     | 0,05                    | 0,1               | 0,008             | 0,09              | 0,4               | 0,08              | 0,02              | 0,04              |

*Порядок затвердження та видачі величин фонових концентрацій*

Величини фонових концентрацій для території видаються на основі зведених значень фонових концентрацій відповідно до



розділів 2, 3, 4 [63]. При цьому пріоритет надається значенням фонових концентрацій, які отримані за даними спостережень гідрометслужби. У тому випадку, коли кількість постів спостережень недостатня для оцінки забруднення атмосферного повітря на території, яка розглядається (ГОСТ 17.2.3.01-86), використовуються концентрації, отримані розрахунковим шляхом [51].

Величини фонових концентрацій за результатами спостережень на стаціонарних постах у містах визначаються та встановлюються організаціями гідрометслужби Міндовкілля України за відповідною формою. Відповідно до наказу Міндовкілля України «Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі» від 30 липня 2001 р. № 286 зі змінами від 20 січня 2017 р., величини фонових концентрацій за результатами спостережень на стаціонарних постах у містах визначають і встановлюють гідрометеорологічні організації ДСНС та узгоджують їх із відповідними територіальними органами Держпродспоживслужби.

Визначення величин фонових концентрацій розрахунковим методом та їх встановлення Департамент екології та природних ресурсів за погодженням із здійснює територіальними органами Держпродспоживслужби.

Величини фонових концентрацій видаються терміном на три роки.

Організація, яка дає запит про величини фонових концентрацій, у встановленому порядку сплачує вартість робіт, пов'язаних з їх визначенням.

### *Статистичні характеристики забруднення атмосфери населених пунктів*

Статистичні характеристики забруднення атмосфери населених пунктів визначаються на підставі систематизації та обробки спостережень.

Метеорологічні умови високого фонового забруднення повітря слід вивчити в кожному місті шляхом аналізу



результатів спостережень. Як правило в місті на мережі постів протягом одного дня відбирається 50–100 проб повітря на різні складові домішки.

Для оцінки ступеня забруднення атмосфери міста в цілому використовуються різні показники.

Одним з найбільш простих показників забруднення служить нормована (безрозмірна) концентрація домішок  $q^*$ , осереднена по всьому місту та по строках спостережень

$$q^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{q_i}, \quad (5.79)$$

де  $q_i$  – середня за весь день концентрація в  $i$ -тому пункті,  $q_i$  – середньосезонна концентрація в тому ж пункті;  $N$  – число стаціонарних пунктів в місті.

Середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  результатів вимірів від середнього арифметичного: середньорічних концентрацій на постах від середньорічної та середньої багаторічної концентрації по місту; разових концентрацій від середньорічної концентрації по місту (району); середньорічних концентрацій для міста від середньорічної концентрації для групи міст; максимальних концентрацій домішок для міста за рік від середньої з максимальних концентрацій домішок за рік; разових (середньодобових) концентрацій від середньомісячної та середньорічної, середньомісячної – від середньорічної та середньої багаторічної; середньорічної – від середньобагаторічної

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 / (n-1)}, \text{ мг/м}^3. \quad (5.80)$$

Коефіцієнт варіації, що показує ступінь змінності концентрацій домішок:  $V = \sigma/q$ , де  $q$  – середня концентрація.

Максимальні значення концентрацій домішок. Визначається максимальна з разових, середньомісячних, середньодобових, середньорічних концентрацій з малого числа



спостережень, а також максимальна з разових концентрацій за даними підфакельних спостережень.

### 5.2.5. Розрахунок забруднення атмосфери викидами від лінійного джерела

В реальних умовах викид домішок в атмосферу можуть здійснюватись не тільки від джерел точкового типу (димові та вентиляційні труби, дефлектори та ін.), розглянутих вище, але і від лінійних джерел. Останні означають викиди від потоків автомашин, а також від промислових підприємств при вентиляції через аераційні ліхтарі, які являють собою отвори в дахах корпусів великої протяжності. Довжина таких ліхтарів на алюмінієвих заводах, наприклад, досягає 600 м. Подібного типу ліхтарі встановлюють для вентиляції цехів електроплавильних, хімічних та інших підприємств.

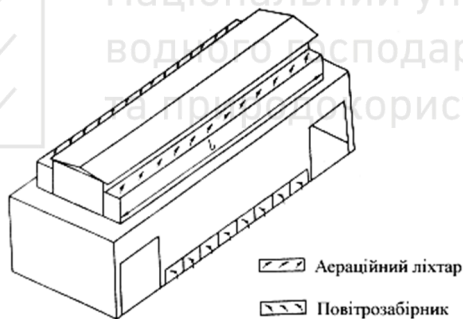


Рис. 5.14. Схема лінійного джерела викидів

При розрахунку розсіювання викидів від лінійного джерела довжиною  $L$  найбільша концентрація шкідливих домішок  $c_m$  досягається у випадку вітру вздовж джерела на віддалі  $x_m$  від проєкції його центру на земну поверхню. Якщо розглядати аераційний ліхтар як лінійне джерело, значення  $c_m$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) та віддалі  $x_m$  (м) визначаються за формулами



$$c_m = s_3 c'_m, \quad (5.81)$$

$$x_m = \frac{L}{2} + s_4 x'_m. \quad (5.82)$$

Тут значення  $c'_m$  та  $x'_m$ , а також відповідні їм значення  $u'_m$  приймаються рівними максимальній концентрації  $c_m$ , віддалі  $x_m$  та небезпечній швидкості  $u_m$  для одинарного джерела такої ж потужності  $M$  з круглим устям діаметром  $D_e$  та витратою газоповітряної суміші  $V_{1e}$ . При цьому ефективний діаметр устя ліхтаря  $D_e$  (м) визначається за формулою:

$$D_e = \frac{2LV_1}{L^2\omega_0 + V_1}, \quad (5.83)$$

де  $V_1$  (м<sup>3</sup>/с) – витрата суміші, що викидається з аераційного ліхтаря за одиницю часу;  $\omega_0$  (м/с) – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з аераційного ліхтаря.

За висоту джерела викиду  $H$  (м) приймається висота над рівнем землі верхньої межі щитів ліхтаря. Середня швидкість виходу в атмосферу газоповітряної суміші з аераційного ліхтаря  $\omega_0$  (м/с) визначається експериментальним шляхом або за розрахунком аерації. Маса забруднювача, що викидається в атмосферу за одиницю часу  $M$  (г/с) приймається рівною сумарному викиду для всього ліхтаря. Величина  $\Delta T$  (°C) приймається такою ж, як для одинарного джерела викиду.

Безрозмірні коефіцієнти  $s_3$  та  $s_4$  визначаються залежно від співвідношення  $L/x'_m$  за рис. 5.15 ( $L$  – довжина лінійного джерела викиду) або за формулами

$$S_3 = \frac{1 + 0,45L/x'_m}{1 + 0,45L/x'_m + 0,1(L/x'_m)^2}, \quad (5.84)$$

$$S_4 = \frac{1}{1 + 0,6L/x'_m}. \quad (5.85)$$

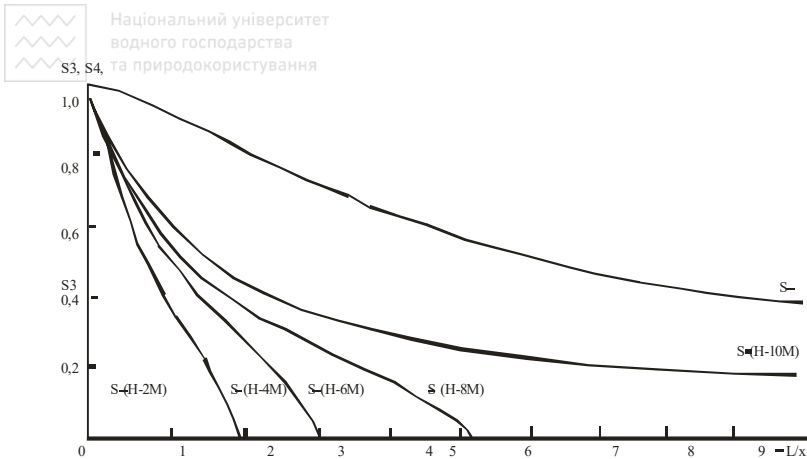


Рис. 5.15. Визначення безрозмірних коефіцієнтів  $s_3$  та  $s_4$

Розсіювання шкідливих речовин на різні віддалі від аераційного ліхтаря розраховується за вищенаведеними формулами.

### 5.2.6. Розрахунок забруднення атмосфери викидами групи джерел

Приземна концентрація шкідливих речовин  $c$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) в будь-якій точці місцевості при наявності  $N$  джерел визначається як сума концентрацій речовин від окремих джерел при заданому напрямку та швидкості вітру  $v'$

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n, \quad (5.86)$$

де  $c_1, c_2, \dots$  — концентрація шкідливих речовин відповідно від першого, другого,  $N$ -го джерел, розташованих з навітряної сторони при розглянутому напрямку вітру.

Значення максимальної сумарної концентрації  $c_m$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) від  $N$  розташованих на площадці близько один від одного одинарних джерел, що мають рівні значення висоти, діаметра устя, швидкості виходу в атмосферу та температури газоповітряної суміші, визначається за формулою





$$c_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V_1\Delta T}}, \quad (5.87)$$

де  $M$  (г/с) – сумарна величина викиду всіма джерелами в атмосферу;  $V$  (м<sup>3</sup>/с) – сумарна витрата шкідливих речовин, що викидається всіма джерелами і визначається за формулою

$$V = V_l N. \quad (5.88)$$

Значення параметра  $v_m$  визначається за формулою

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V\Delta T}{NH}}. \quad (5.89)$$

Подальша схема розрахунку концентрацій речовин, зумовлених викидами від групи розташованих близько один до одного однакових джерел викиду не відрізняється від приведеної вище.

Для джерел викиду, що мають різні параметри, розрахунок приземних концентрацій починається з визначення для всіх джерел за кожною речовиною максимальних приземних концентрацій  $c_m$  та небезпечних швидкостей вітру. Якщо за будь-якою речовиною сума максимальних приземних концентрацій  $c_m$  від всіх джерел виявиться меншою або рівною ГДК, то при відсутності необхідності врахування сумарної дії декількох шкідливих речовин та фонового забруднення атмосфери, розрахунки приземної концентрації цієї речовини не виконуються.

При розрахунках визначається середньонебезпечна швидкість вітру  $u_{мс}$  (м/с) для групи  $N$  джерел за формулою:

$$u_{мс} = \frac{u_{мс1}c_1 + u_{мс2}c_2 + \dots + u_{мсn}c_{mn}}{c_{м1} + c_{м2} + \dots + c_{мn}}. \quad (5.90)$$



### **5.3. Розробка нормативів гранично допустимих та тимчасово погоджених викидів (ГДВ) для стаціонарних джерел**

Гранично допустимий викид (далі – ГДВ) – науково-технічний норматив, що встановлюється так, щоб вміст забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери від джерела або їхньої сукупності (з врахуванням перспективи розвитку промислових підприємств) не перевищував нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря; а саме гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі для населення, рослинного та тваринного світу.

Гранично допустимі нормативи викидів (ГДВ) забруднюючих речовин в атмосферу розробляються конкретно для кожного підприємства незалежно від форм власності.

Лише при наявності узгодження розроблених нормативів підприємство одержує дозвіл на викид забруднюючих речовин і ліміти викидів.

Дозвіл на викиди дається у вигляді потужності викидів (г/с), а ліміти підприємство одержує у вигляді потужності викидів (т/рік).

За перевищення дозволених обсягів викидів підприємство платить штраф. На підставі отриманих лімітів підприємство здійснює платежі в бюджет за викиди забруднюючих речовин. У випадку, якщо органи держкобезпеки виявлять перевищення лімітів, платежі підприємства в бюджет коректуються в кратному розмірі (з використанням коефіцієнта кратності, розмір якого встановлюють органи місцевого самоврядування з урахуванням місцевих особливостей).

Значення ГДВ розробляються при проведенні відомчих досліджень по ГДВ, при складанні зведених томів «Охорона атмосфери міста й нормативи ГДВ для міста або населеного пункту», розділів, що стосуються захисту атмосфери від забруднення (у розділі «Охорона навколишнього середовища») різних видів передпроектної і проектної документації на будівництво нових і реконструкцію існуючих підприємств. Вони



розробляються як для споруджуваних, проєктованих так і для діючих підприємств із урахуванням перспективи їхнього розвитку, погодженої в проєктно-кошторисній документації.

Розробка ГДВ проводиться з урахуванням граничних нормативів утворення забруднюючих речовин, які виділяються в атмосферне повітря при експлуатації технологічного й іншого устаткування, споруд і об'єктів, із застосуванням методів розрахунку забруднення атмосфери промисловими викидами, а також фізико-географічних, кліматичних умов місцевості розташування промислових площадок і ділянок існуючої й проєктованої житлової забудови, санаторіїв, зон відпочинку міст, взаємного розташування промислових площадок і селітебних територій, як на існуюче положення, так і на перспективу.

*ГДВ* встановлюють для кожного джерела забруднення атмосфери за кожною речовиною.

Нормуванню підлягають викиди забруднюючу атмосферу речовин від технологічних джерел виділення, вентиляційних пристроїв й іншого устаткування, що працює в стаціонарному технологічному режимі. А також залпові викиди забруднюючих речовин, які характерні для багатьох технологічних процесів. Аварійні викиди при розробці відомчого тому нормативів не нормуються.

*Залповий викид забруднюючу атмосферу речовини* – це викид від організованого або неорганізованого джерела викидів, що триває менше 20 хвилин.

Величина ГДВ розробляється в г/с і т/рік. ГДВ (г/с) встановлюється для умов повного навантаження технологічного й газоочисного устаткування й дотримання граничних нормативів утворення забруднюючих речовин, які виділяються в атмосферне повітря при експлуатації технологічного й іншого устаткування, споруд і об'єктів.

Значення ГДВ (г/с) відносяться до часу експозиції (20 хв), що й нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря (ГДК максимальні-разові).

Значення ГДВ т/рік встановлюються для окремого джерела викидів з урахуванням тимчасової нерівномірності



викидів, у тому числі за рахунок планового ремонту технологічного й газоочисного обладнання. Для оцінки темпів зниження викидів і можливості утилізації газоповітряних викидів встановлюється ГДВ (т/рік) в цілому по підприємству. Поряд з ГДВ для одинарних джерел встановлюються ГДВ для підприємства в цілому. При постійних викидах в часі забруднювачі в ГДВ підприємства знаходять як суму ГДВ від одинарних стаціонарних джерел. При непостійному викиді в часі забруднювачів ГДВ підприємства менше суми ГДВ від окремих джерел і відповідає максимально можливому сумарному викиду від всіх джерел підприємства при нормальній роботі технологічного та газоочисного обладнання.

Для того, щоб установити норматив для джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферу, що має характер залпового необхідно визначити концентрацію забруднюючих речовин у викидають газів, що, і час, протягом якого відбувається залповий викид. У таблицях локального тому ГДВ величини нормативів для залпового викиду (т/с і т/рік) приводяться в натуральних величинах, а розрахунок розсіювання забруднюючу атмосферу речовин проводиться з урахуванням приведення залпового викиду до 20-хвилинного періоду осереднення.

Для діючих підприємств, якщо в повітрі міст або інших населених пунктів концентрації забруднюючу атмосферу речовин перевищують нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря, а також якщо підприємство не виконує вимоги, і значення ГДВ у цей час не можуть бути досягнуті, за узгодженням з органами Міндовкілля України передбачається поетапне, вказуючи тривалість кожного етапу, зниження викидів забруднюючих речовин до значень ГДВ. Воно повинне забезпечувати досягнення нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря, граничних нормативів утворення забруднюючих речовин при експлуатації технологічного й іншого встаткування, або повне запобігання викидів.

На кожному етапі до забезпечення значень ГДВ встановлюються тимчасово-погоджені викиди забруднюючу атмосферу речовин (ТПВ) з врахуванням значень викидів



підприємств із сучасною технологією виробництва.

Значення ТПВ, також як і ГДВ, встановлюються для джерел і для підприємства в цілому з кожної речовини.

Для заново проєктованих підприємств (об'єктів) значення ТПВ не встановлюються.

Для неорганізованих викидів або сукупності дрібних (одинарних) джерел встановлюють сумарне значення ГДВ.

Якщо на даному підприємстві або групі підприємств, розташованих в одному районі, значення ГДВ з об'єктивних причин не може бути досягнуто нині, то за узгодженням з органами Міндовкілля України допускається поетапне зниження викидів до узгоджених величин.

ГДВ визначаються для кожної речовини окремо, в тому числі і у випадках врахування сумачії шкідливої дії декількох речовин.

Гігієнічним критерієм для визначення гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферу є відповідність їх розрахункових концентрацій на межі СЗЗ гігієнічним нормативам.

При встановленні ГДВ враховуються фонові концентрації  $c_{\phi}$ . При визначенні ГДВ для діючих підприємств  $c_{\phi}$  замінюють на  $c_{\phi}'$ . Значення ГДВ (г/с) для одинарного джерела з круглим гирлом у випадку  $c_{\phi} < ГДК$  визначається за формулою

$$ГДВ = \frac{(\partial B_{жс} - -_{тм})H^2}{AFmn\eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}. \quad (5.91)$$

У випадку  $f > 100$  або  $\Delta T \approx 0$  (холодні викиди) ГДВ визначається за формулою

$$ГДВ = \frac{(ГДК - c_{\phi})H^{4/3}}{AFn\eta} \frac{8V_1}{D}. \quad (5.92)$$

Значення ГДВ для джерела з прямокутним устям визначається за тими ж формулами, але при  $D = D_e$  та  $V_1 = V_e$ .



Значення ГДВ у випадку викидів від одинарного аераційного ліхтаря визначається за формулою

$$\text{ГДВ} = \frac{\text{ГДВ}_0}{s_3}, \quad (5.93)$$

де  $\text{ГДВ}_0$  знаходиться за формулами при  $V_1 = V_{1e}$  та  $D = D_e$ , а  $s_3$  знаходиться за вищевказаними формулами.

При визначенні ГДВ для одинарного джерела викиду суміші постійного складу речовини з сумациєю їх шкідливої дії, спочатку визначається допоміжне значення сумарного  $\text{ГДВ} = \text{ГДВ}_c$ , приведеного до викиду однієї з речовин. Потім з врахуванням складу викидів визначаються ГДВ кожної шкідливої речовини.

При наявності групи з декількох джерел викиду значення ГДВ ( $\text{ГДВ}_1, \text{ГДВ}_2, \dots, \text{ГДВ}_N$ ) для кожного ( $i$ -того) джерела знаходять за формулою

$$\text{ГДВ}_i = M_i, \quad (5.94)$$

де  $M_i$  ( $M_1, M_2, \dots, M_N$ ) – такі значення викиду від кожного джерела, які прийняті при розрахунках забруднення атмосфери від всієї сукупності джерел і при яких максимальна сумарна концентрація в атмосфері при несприятливих метеорологічних умовах не перевищують  $\text{ГДК} - c_\phi$  або  $0,8\text{ГДК} - c_\phi$  на особливо охоронних територіях.

При розробці ГДВ для підприємства, яке підлягає реконструкції, розрахунки виконуються на фактичний стан справ та на перспективу. При розрахунках на фактичний стан справ використовується значення  $M$  та  $V_1$  за даними останньої інвентаризації викидів з внесенням у випадку необхідності додаткових уточнень. При розрахунках на перспективу розрахунки проводяться окремо для кожного з намічених етапів скорочення викидів з використанням значень  $m$  та  $V_1$ , що очікуються в результаті реалізації намічених заходів.

Якщо для будь-якої шкідливої речовини виконується співвідношення



$$\sum_{i=1}^N c_{mi} + c_{\phi} \leq ГДК, \quad (5.95)$$

то в цьому випадку (при відсутності необхідності врахування шкідливої дії декількох речовин) використання в розрахунках значення  $M_i$  можуть бути прийняті як  $ГДВ_i$  без розрахунків сумарного забруднення атмосфери.

Встановленню ГДВ для окремого джерела передусе визначення його зони впливу, радіус якої приблизно оцінюється як найбільше із двох віддалей від джерела  $x_1$  та  $x_2$ (м), де  $x_1 = 10 x_m$  (при цьому  $x_1$  відповідає віддалі, на якій  $c$  складає 5% від  $c_m$ ). Значення  $x_2$  визначається як віддаль від джерела, починаючи з якої  $c \leq 0,05 ГДК$ .

Зону впливу джерел та підприємства розраховують по кожній шкідливій речовині (або комбінації речовин з ефектом сумачії) окремо.

Поряд з максимальним разовим ГДВ (г/с) для виконання проектних оцінок темпів зниження викидів та можливостей утилізації шкідливих речовин, що викидаються разом з газоповітряною сумішшю, встановлюються річні значення ГДВ<sub>p</sub> (т/рік) для окремих джерел та підприємства вцілому.

Для підприємства вцілому ГДВ знаходиться за формулою

$$ГДВ_p = \sum_{i=1} ГДВ_i. \quad (5.96)$$

Результати розрахунків представляють у вигляді таблиці.

### *Порядок розробки нормативів ГДВ (ТПВ)*

Організація робіт у будь-якому населеному пункті (місті й ін.) з розробки нормативів ГДВ (ТПВ) підприємствами установами, організаціями здійснюється органами Міндовкілля України.

Для організації й координації робіт з розробки нормативів ГДВ (ТПВ) на підприємствах галузі міністерства й відомства призначають головну галузеву організацію.



### *Окреме підприємство (проект нормативів ГДВ)*

Підприємство виконує роботи з нормування викидів забруднюючих речовин в атмосферу відповідно до плану-графіка робіт із установлення нормативів ГДВ у даному населеному пункті, затвердженому місцевими органами державної виконавчої влади й органами Міндовкілля України.

Розробку проекту нормативів ГДВ по суб'єкту господарювання (підприємству) проводять інститути-генпроектувальники, НДІ й інші організації (екоцентри, малі підприємства й ін.), які є на обліку в Міндовкілля України й мають дозвіл, виданий органами Міндовкілля України. Порядок обліку підприємств і видачі дозволів на розробку нормативів гранично припустимих викидів речовин в атмосферне повітря встановлюються Міндовкілля України.

Суб'єкт господарювання забезпечує організацію розроблювача вихідною інформацією, що необхідна для розробки проекту нормативів ГДВ. Для цього він виконує санітарно-технічне обстеження вентиляційних систем і інвентаризацію джерел викидів забруднюючих речовин на існуюче стан уточнює перспективу розвитку підприємства.

При розробці проекту нормативів ГДВ повинні враховуватися вимоги зі стабілізації й зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в строки й в обсягах, передбачених відповідними постановами Кабінету Міністрів України по виконанню міжнародних угод в галузі охорони атмосферного повітря.

Якщо в місті трохи промайданчиків даного підприємства (об'єднання), відомчий проект нормативів ГДВ розробляється в цілому для підприємства з виділенням (у табличному матеріалі) характеристик окремих промайданчиків. Розрахунки забруднення атмосфери виконуються окремо для кожної з них.

Розрахунок забруднення атмосфери виконується за погодженою з Міндовкілля України програмою РЗА на ПК і ЕОМ. Інформація про параметри джерел і викиди забруднюючу атмосферу речовин повинна у вигляді «Конвертора» (на дискеті) представлятися в Головну організацію з розробки зведеного тому «Охорона атмосфери й нормативи ГДВ (ТПВ) міста або





населеного пункту» і в органи Міндовкілля України для затвердження нормативів ГДВ для підприємства.

Запропоновані значення нормативів ГДВ для підприємства, заходи щодо їхнього досягнення й матеріали, які обґрунтовують ухвалені рішення, оформляються відповідно до Інструкції з оформлення й змісту проекту нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел, затвердженої наказом Міндовкілля України № 76 від 18.07.96 р., за узгодженням з Міністерством охорони здоров'я України, на основі програмних документів, погоджених з Міндовкілля України.

Пропоновані значення нормативів ГДВ для підприємства, заходи щодо їхнього досягнення й матеріали, що обґрунтовують ухвалені рішення оформляються у вигляді «Локального тому ГДВ для підприємства». Обсяг, структура й зміст «Локального тому ГДВ для підприємства» визначається відповідними рекомендаціями органів Міндовкілля України.

Розроблений проект нормативів ГДВ підписується керівником організації, що розробила цей проект, і направляється на затвердження в органи Міндовкілля й Міністерства охорони здоров'я України. Зазначений проект нормативів ГДВ попередньо узгоджується з місцевими органами виконавчої державної влади й органами місцевого самоврядування у встановленому порядку.

Нормативи ГДВ розробляються для речовин, що мають ГДК або ОБРВ.

Для речовин, що не мають ГДК (ОБРВ) устанавлюється ТПВ. При цьому ТПВ устанавлюється на строк не більше 2-х років з моменту твердження величин нормативів викидів. При цьому в складі нормативів ГДВ повинна міститись заявка в органи Міністерства охорони здоров'я України на розробку ГДК або ОБРВ даної речовини у встановленому порядку.

Якщо відомчий проект нормативів ГДВ виконаний відповідно до нормативних документів і задовольняє вимогам існуючих «Рекомендацій...», то на адресу підприємства направляється повідомлення про його затвердження.



Підприємство, що одержало повідомлення про затвердження проекту ГДВ, повинно одержати в органах Міндовкілля України дозвіл на викид забруднюючих речовин в атмосферу.

Установлені нормативи ГДВ переглядаються один раз у п'ять років. При необхідності, відповідно до спільного рішення місцевих органів державної виконавчої влади й органів Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України, нормативи ГДВ можуть бути переглянуті до закінчення цього строку.

Доповнення й заміни по окремих джерелах забруднюючих речовин заносяться в таблицю «Параметри викидів забруднюючих речовин в атмосферу для розрахунку ГДВ», а також в інші таблиці «Локального тому ГДВ... ».

Інформація про строки затвердження замін і доповнень до проекту ГДВ, а також видачі дозволів з цих замін і доповнень повинна утримуватися в «Локальному томі ГДВ ... ».

*Кілька підприємств у населеному пункті (зведений проект нормативів ГДВ)*

У населених пунктах, у зоні яких на атмосферне повітря впливає діяльність декількох підприємств, установ і організацій, за рішенням місцевих органів виконавчої державної влади органів місцевого самоврядування розробляються зведені проекти нормативів гранично припустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря по місту або населеному пункту (далі – зведений проект нормативів ГДВ). Місцеві органи державної виконавчої влади й місцевого самоврядування, відповідно до їх компетенції, визначають Головну місцеву організацію (ГМО) з розробки зведеного проекту нормативів ГДВ по місту або населеному пункту за поданням місцевих органів Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України.

На Головну місцеву організацію з розробки зведеного проекту нормативів ГДВ по місту або населеному пункту, органом, що створили її покладає рішення питань з охорони атмосферного повітря.



На основі поданих підприємствами проектів нормативів ГДВ проводяться кінцеві розрахунки забруднення атмосфери від всіх діючих об'єктів, а також споруджуваних і реконструйованих об'єктів.

Систематизовані пропозиції щодо нормативів гранично допустимих викидів для підприємств, а також заходів щодо їхнього досягнення в складі зведеного проекту «Охорона атмосфери й нормативи ГДВ по місту або населеному пункту» подаються на затвердження в органи Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України.

Ці пропозиції попередньо узгоджуються з місцевим органом виконавчої державної влади й органом місцевого самоврядування в частині строків виконання заходів щодо досягнення нормативів ГДВ.

Органи Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України розглядають і приймають рішення про твердження свого проекту «Охорона атмосфери й нормативи ГДВ по місту й населеному пункту».

Після затвердження зведеного проекту нормативів ГДВ по місту або населеному пункту підприємства зобов'язані представити проект нормативів ГДВ (ТПВ) для затвердження в органи Міндовкілля й Міністерства охорони здоров'я України.

Міндовкілля України направляє підприємствам повідомлення про затвердження нормативів ГДВ у складі зведеного проекту нормативів ГДВ по місту або населеному пункту, а також визначає строк подачі підприємством проекту нормативів ГДВ в органи Міндовкілля й Міністерства охорони здоров'я України для затвердження.

Зведений проект «Охорона атмосфери й нормативи ГДВ у місті або населеному пункті» виконується в 4-х екземплярах, і зберігаються по одному екземплярі в органах Міндовкілля України, Міністерства охорони здоров'я України, у місцевих органах державної виконавчої влади й Головний міській організації по розробці зведеного проекту нормативів ГДВ по місту або населеному пункту.

Відповідальність за якість виконання проекту нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в



атмосферне повітря для підприємств покладає на організацію – розроблювача даного проекту.

### *Порядок затвердження нормативів ГДВ (ТПВ)*

Проекти нормативів ГДВ (ТПВ) підприємств, установ і організацій затверджуються органами Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України за узгодженням з місцевими органами державної виконавчої влади й органами місцевого самоврядування в частині:

- періодів виконання заходів щодо зниження викидів забруднюючих речовин до нормативних рівнів;
- періодів відселення людей і винесення об'єктів соціального призначення із санітарно-захисних зон;
- зниження обсягів виробництва й викидів забруднюючих речовин у період несприятливих метеорологічних умов.

Заходи щодо охорони атмосферного повітря при несприятливих метеорологічних умовах розробляються в порядку й обсягах, передбачених РД 52.04-52-85 «Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах».

У випадку, коли немає необхідності в розробці заходів щодо зниження викидів забруднюючих речовин до нормативного рівня, відселення людей із санітарно-захисної зони й зниження обсягів виробництва й викидів забруднюючих речовин у період несприятливих метеорологічних умов, проект нормативів ГДВ у місцеві органи державної виконавчої влади на узгодження не подається.

Проекти нормативів ГДВ після попереднього узгодження з місцевими органами державної виконавчої влади й органами місцевого самоврядування розглядаються органами Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України протягом 2-х тижнів, а по особливо великих об'єктах – до 30 днів.

Затвердження нормативів ГДВ (ТПВ) покладено на Управління екології та природних ресурсів в областях України, м. Київ і м. Севастополь, або місцевим органам за поданням обласних управлінь.



Затверджений проект нормативів ГДВ підлягає обліку в журналі реєстрації затвердженого проекту нормативів ГДВ забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел (додаток № 1). Проекту нормативів ГДВ органами Міндовкілля України привласнюється шестизначний реєстраційний номер, що відповідає коду підприємства й коду області.

Для нових і реконструйованих стаціонарних джерел затвердженими нормативами гранично припустимих викидів уважаються величини викидів забруднюючих речовин у складі проектно-кошторисної документації, що пройшла екологічну й санітарно-гігієнічну експертизу й має позитивний висновок.

Нормативи ГДВ затверджуються строком на 5 років і підлягають Perezatverdzhenniu відповідно до плану-графіка, складеному Головною міською організацією з розробки зведеного тому «Охорона атмосфери й нормативи ГДВ для міста або населеного пункту» і затвердженому органами Міндовкілля України.

Нормативи ГДВ вводяться в дію Дозволом на викид. Порядок видачі Дозволу на викид устанавлюється Законом України про охорону атмосферного повітря (стаття 13).

Необхідність перегляду раніше затверджених ГДВ може виникнути до закінчення терміну їхньої дії при зміні екологічної ситуації в регіоні, появи нових, або уточненні параметрів існуючих джерел і викидів забруднюючу атмосферу речовин. У випадку зміни параметрів існуючих джерел і викидів забруднюючу атмосферу речовин або появи нових, підприємство, за підсумками звітного року, зобов'язано представити дані про зміни, що відбулися, у Головну міську організацію, де здійснюється необхідне коректування значень нормативів ГДВ, а потім уточнені нормативи ГДВ передаються в органи Міндовкілля України для одержання дозволу на викид.

При відсутності підстав для зміни діючого проекту нормативів ГДВ (ТПВ), після закінчення строку його дії, новий проект нормативів ГДВ не розробляється. У цьому випадку підприємство за три місяці до закінчення дії затвердженого проекту нормативів ГДВ звертається в органи Міндовкілля



України й Міністерства охорони здоров'я України із заявою про продовження дії існуючого проекту нормативів ГДВ Міндовкілля України після узгодження в Міністерстві охорони здоров'я України перезатверджується названий проект нормативів ГДВ, про що робиться відповідний запис на титульному аркуші проекту.

Результати розгляду матеріалів затвердження ГДВ у місцевих органах Міндовкілля України можуть бути оскаржені у вищестоящій організації.

При визначенні плати за викиди в атмосферу необхідно керуватися затвердженими нормативами ГДВ.

### *Оформлення проекту нормативів ГДВ*

Необхідний обсяг і форма подання проекту нормативів гранично припустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел визначаються «Інструкцією з оформлення й змісту проекту нормативів гранично припустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел».

Якщо підприємство розташоване на двох або більше промислових майданчиках, то проект нормативів ГДВ розробляється підприємством по кожному промислового майданчику окремо.

При оформленні проекту нормативів ГДВ і розробці його змісту повинні бути дотримані певні вимоги.

Проект нормативів ГДВ складається із двох самостійних частин. Перша частина містить пояснювальну записку й табличний матеріал. Друга – розрахунки концентрацій в атмосферному повітрі забруднюючих речовин, що втримуються у викидах підприємств, виконані на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ).

Розділи пояснювальної записки проекту нормативів ГДВ розміщуються в такій послідовності:

1. Титульний аркуш проекту нормативів ГДВ забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел підприємства.



2. Вступна частина, у якій приводиться перелік основних документів, на основі яких розробляється проект нормативів ГДВ, підстава для проведення робіт з нормування викидів на даному підприємстві: наказ, його номер та ін.

3. Загальні відомості про підприємство, які містять повну назву підприємства, його поштову адресу, реквізити, прізвища й телефони керівників підприємств і відповідальних працівників служб охорони природи, кількість промислових площадок, їхньої адреси взаєморозташування підприємств і об'єктів, що межують із ним – житлових масивів, промислових зон, лісів, сільськогосподарських угідь, транспортних магістралей і т.д.

На генеральний план підприємства наносяться джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Складається ситуаційна карта-схема, на якій указується розміщення підприємства з нанесенням на ній границь санітарно захисної зони, селітебної території, зон відпочинку, координатної сітки, стаціонарних постів спостережень за забрудненням атмосферного повітря управління екології та природних ресурсів, розташованих у зоні впливу підприємства, Деркомгідромету України. Ситуаційна карта-схема повинна характеризувати ситуацію зони впливу підприємства в радіусі не менш 50 висот труб найбільш високої труби, але не менш 2 км.

### *Контроль за дотриманням нормативів ГДВ (ТПВ)*

Контроль за досягненням і дотриманням затверджених нормативів ГДВ (ТПВ) забруднюючих атмосферу речовин включає:

– визначення маси викидів речовин в одиницю часу від даного джерела забруднення й порівняння цих показників із затвердженими нормативами ГДВ;

– перевірку виконання плану заходів щодо досягнення ГДВ;

Контроль за дотриманням нормативів ГДВ (ТПВ), а також заходів щодо їхнього досягнення проводиться як самим підприємством (виробничий, або відомчий контроль), так і



державними органами Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України (вибірковий державний контроль).

Для здійснення виробничого (відомчого) контролю на підприємстві створюються відповідні підрозділи (відділи, лабораторії, групи охорони атмосферного повітря) або залучаються для цієї мети інші спеціалізовані підрозділи, що мають дозвіл на проведення зазначеного контролю, виданий органами Міндовкілля України й Міністерства охорони здоров'я України.

Виробничий контроль здійснюється відповідно до плану-графіка, затвердженому у складі проекту нормативів ГДВ і передбаченим у дозволі на викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Служби виробничого контролю погоджують із місцевими органами Міндовкілля України місця для проведення вимірів і періодичність відбору проб, перелік контрольованих показників, обсяг і порядок подання інформації про викиди забруднюючу атмосферу речовин.

Органи Міндовкілля й Міністерства охорони здоров'я України здійснюють державний (вибірковий) контроль за атмосферо охоронною діяльністю відповідно до плану робіт, а також при виникненні аварійних ситуацій, або несприятливих метеоумов, різкому погіршенні екологічної ситуації.

Порядок проведення державного й виробничого контролю, методики й прилади, що використовуються для визначення концентрацій забруднюючих атмосферу речовин як на джерелах викидів, так і в реперних точках визначається Інструкцією ОНД-90 або відповідними нормативними документами Міндовкілля України.

До складу розділу по контролю за дотриманням нормативів ГДВ безпосередньо на джерелах викидів входить перелік речовин, які підлягають контролю. Наводиться перелік методик, які використовуються при контролі за дотриманням установлених нормативів викидів.

Для забруднюючих речовин, для яких на час розробки нормативів ГДВ методики контролю не розроблені, організація, що розробляє нормативи ГДВ для підприємства, дає





рекомендації з їхньої розробки. У випадку недоцільності або неможливості визначення викидів забруднюючих речовин експериментальними методами, наводиться обґрунтування використання розрахункових балансових методів, питомих викидів тощо.

При цьому в проєкті нормативів ГДВ розробляються рекомендації з контролю за дотриманням установлених нормативів викиду по забруднюючих речовинах для основних джерел викиду. План-графік контролю за дотриманням нормативів ГДВ (ТПВ) на джерелах викидів і в контрольних точках оформляється відповідно до табл. 5.7.

Таблиця 5.7

План-графік контролю за дотриманням нормативів ГДВ (ТПВ) на джерелах викидів і в контрольних точках

| Номер джерела викиду   | Номер контрольної точки | Виробнича ділянка, цех | Назва речовини, що контролюється | Дозволений об'єм викидів забруднюючих речовин (ТПВ, ГДВ) |     | Періодичність контролю | Назва методики визначення (посилання на НД) | Організація, яка проводить вимірювання |
|--|-------------------------|------------------------|----------------------------------|--|-----|------------------------|---|--|
|  |                         |                        |                                  | мг/м <sup>3</sup>  | г/с |                        |   |  |
| 1  | 2                       | 3                      | 4                                | 5  | 6   | 7                      | 8   | 9                                      |
| Примітка: 1 – контрольна точка – це місце відбору проб для контролю нормативів ГДВ (ТПВ) |                         |                        |                                  |  |     |                        |   |  |
| 2 – в графі 8 вказується також назва і тип приладу                                       |                         |                        |                                  |  |     |                        |   |  |

Контроль за дотриманням нормативів ГДВ по фактичному забрудненню атмосферного повітря на спеціально обраних контрольних точках проводиться всіма підприємствами. Контрольні значення приземних концентрацій забруднюючих речовин для контролю нормативів ГДВ (ТПВ) оформляються відповідно до табл. 5.8.

Проводиться обґрунтування необхідності створення підрозділу по контролю за дотриманням нормативів ГДВ і відповідний для цього штат працівників.



Таблиця 5.8

Контрольні значення приземних концентрацій  
забруднюючих речовин для контролю нормативів ГДВ (ТПВ)  
на 200 рік

| Контрольна точка |            |   | Назва речовини, що контролюється | Методика проведення контрольних вимірів | Періодичність проведення вимірів | Еталонні розраховані концентрації при небезпечній швидкості вітру |                           |               |
|------------------|------------|---|----------------------------------|---|----------------------------------|---|---------------------------|---------------|
| Номер            | Координати |   |                                  |   |                                  | Напрямок вітру, °   | Небезпечна швидкість, м/с | Концентрація, |
|                  | x          | y |                                  |   |                                  |   |                           |               |
| 1                | 2          | 3 | 4                                | 5                                       | 6                                | 7   | 8                         | 9             |

#### 5.4. Визначення та уточнення розмірів санітарно-захисної зони

Санітарно-захисна зона (СЗЗ) – спеціально організована територія, що встановлюється від джерела шкідливості (у тому числі від джерела забруднення атмосфери) до межі житлової забудови ділянок оздоровчих установ, місць відпочинку, садівничих товариств й інших прирівняних до них об'єктів.

Розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ)  $l_0$ (м), встановлені в «Санітарних нормах проектування промислових підприємств», повинні перевірятися розрахунком забруднення атмосфери у відповідності з вимогами ОНД-86 та інших нормативних документів, з врахуванням розвитку підприємства та фактичного забруднення атмосферного повітря [52]. Отримані за розрахунком розміри СЗЗ уточнюються окремо для різних напрямів вітру в залежності від розрахунку забруднення атмосфери та середньорічної рози вітрів району розташування підприємства за формулою



$$l = l_0 \frac{P}{P_0}, \quad (5.97)$$

де  $l$  (м) – розрахунковий розмір СЗЗ;  $l_0$  (м) – розрахунковий розмір ділянки місцевості в даному напрямку, де концентрація шкідливих речовин (з врахуванням фонові концентрації від інших джерел) перевищує ГДК;  $P$  (%) – середньорічна повторюваність вітрів розглянутого румба;  $P_0$  (%) – повторюваність напрямів вітрів одного румба при круговій розі вітрів.

Наприклад, при восьмирумбовій розі вітрів:

$$P_0 = \frac{100}{8} = 12,5\%. \quad (5.98)$$

Значення  $l$  та  $L_0$  відраховуються від межі джерел.

Якщо, відповідно до передбачених технічними рішеннями та розрахунками забруднень атмосфери, розміри СЗЗ для підприємства визначаються більшими, ніж розміри, встановлені «Санітарними нормами проектування промислових підприємств», то необхідно переглянути проектні рішення та забезпечити виконання вимог «Санітарних норм...» за рахунок зменшення кількості викидів шкідливих речовин в атмосферу, збільшення висоти викиду та ін. Якщо після додаткової розробки не виявлені технологічні можливості забезпечення розмірів СЗЗ, то розміри  $l$  приймаються відповідно до результатів розрахунків.

## 5.5. Визначення екологічної техноємності території

Екологічна техноємність території визначається коефіцієнтом варіації відхилень складу середовища від природного рівня та його коливань. Збільшення рівня змін вважається антропогенним (техногенним) впливом.

Екологічна техноємність території 10х10 км з центром в початку відліку заводської сітки координат може бути розрахована за формулою:



$$E_{\text{тг}} = \sum_{i=1}^n E_i K_{qi} K_{ei}, \quad (5.99)$$

де  $E_{\text{тг}}$  – оцінка екологічної техноємності території, виражена в одиницях масового техногенного навантаження, умовні т/рік;  $E_i$  – оцінка екологічної ємності  $i$ -того середовища (1 – повітря, 2 – вода, 3 – земля).

Для повітря:

$$E_l = V_l D_l B_l, \quad (5.100)$$

$$V_l = T_l h, \quad (5.101)$$

де  $T_l$  – розмір території, км<sup>2</sup>;  $h$  – висота шару повітря;  $V_l$  – об'єм повітря, км<sup>3</sup> (для відкритих просторів –  $h = 0,01$  км; для нерівного рельєфу і лісів –  $h = 0,02$  км; для міської забудови –  $h = 0,03-0,05$  км);  $D_l$  – вміст кисню та вуглекислого газу в атмосферному повітрі,  $3 \cdot 10^5$  т/км<sup>3</sup>;  $B_l$  – швидкість кратного оновлення об'єму або маси середовища в рік

$$B_l = \frac{5589H}{\sqrt{T}}, \quad (5.102)$$

де  $H$  – річна середня швидкість повітря, 4 м/с;  $K_{ql}$  – коефіцієнт домішок (природні коливання вмісту кисню та CO<sub>2</sub> в повітрі  $K_{ql} = 3 \cdot 10^{-6}$ );  $K_{el}$  – коефіцієнт переводу маси викидів в умовні тони (коефіцієнт відносної небезпеки домішок). Розраховується на основі інформації про фактичне чи передбачене надходження (емісії після очистки) домішок в повітря

$$K_{в1} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i m_i}{\sum_{i=1}^n B_i}, \quad (5.103)$$

де  $B_i$  – маса  $i$ -ї забруднюючої речовини, що викидається за рік, тони;  $M_i$  – відносна токсичність  $i$ -тої речовини (умовні т/т).



## 5.6. Визначення економічного збитку від негативного впливу викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Економічний збиток від негативного впливу викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря на здоров'я людей визначається згідно з «Методикою визначення розмірів плати й стягнення платежів за забруднення навколишнього середовища України».

Відповідно до цієї Методики, розмір платежу за викиди в атмосферу забруднюючих речовин стаціонарними джерелами ( $P_{zc}$ ) визначається за формулою

$$P_{zc} = \sum_{i=1}^n \left[ (H_{oi} \cdot M_{li}) + (\kappa_n \cdot H_{oi} \cdot M_{ni}) \right] \cdot \kappa_T \cdot \kappa_{ind}, \quad (5.104)$$

де  $H_{oi}$  – базовий норматив плати за викиди в атмосферу 1 т  $i$ -го забруднюючої речовини в межах ліміту, грн/т;  $M_{li}$  – маса річного викиду  $i$ -го забруднюючої речовини в межах ліміту, т;  $\kappa_n$  – коефіцієнт кратності плати за понадлімітний викид в атмосферу забруднюючих речовин;  $M_{ni}$  – маса понадлімітного річного викиду в атмосферу  $i$ -го забруднюючої речовини, т;  $\kappa_T$  – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості;  $\kappa_{ind}$  – коефіцієнт індексації; приймається рівним 1.

$$\kappa_T = \kappa_{нас} \cdot \kappa_{\phi}, \quad (5.105)$$

де  $\kappa_{нас}$  – коефіцієнт, що залежить від чисельності жителів населеного пункту: при чисельності більше 1 млн приймається рівним 1,80;  $\kappa_{\phi}$  – коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення населеного пункту; для обласних центрів, міст обласного підпорядкування, промислових і транспортних вузлів  $\kappa_{\phi} = 1,25$ .

$$\kappa_T = \kappa_{нас} \cdot \kappa_{\phi} = 1,80 \cdot 1,25 = 2,25$$



Розрахунок розміру платежу (економічного збитку) виконаний для умови, що викиди здійснюються в межах ліміту.

### 5.7. Приклад розрахунку забруднення приземного шару атмосфери для Державного підприємства «Клеванське лісове господарство»

Здійснимо розрахунок забруднення приземного шару атмосфери, що відбувається внаслідок Державного підприємства «Клеванське лісове господарство».

На промисловій площадці підприємства розташовано цех обробки деревини, котельня, яка працює на твердому паливі.

Для здійснення розрахунків необхідно отримати вихідні дані. Для цього виконується інвентаризація джерел викидів забруднюючих речовин. Інвентаризація включає в себе характеристику технології, газоочисних установок з точки зору утворення і відведення забруднюючих речовин, визначення параметрів стаціонарних джерел викидів, а також характеристику неорганізованих джерел.

Інвентаризація проводиться на підставі інструкцій «Про зміст і порядок складання звіту інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферному повітрі», яка була затверджена 10 лютого 1995 року.

В результаті інвентаризації отримуємо дані необхідні для проведення розрахунків (табл. 5.9 та табл. 5.10).

Таблиця 5.9  
Характеристика забруднюючих речовин,  
що викидаються в повітря

| Найменування джерела | № джерела викиду | Джерело утворення забруднюючих речовин |      | Завантаження технол. обладн. | Об'ємна витрата газу, м <sup>3</sup> /с | Температура °С | Забруднююча речовина |               | Значення конц. забр. реч., мг/м <sup>3</sup> фактичні |            |
|----------------------|------------------|--|------|------------------------------|---|----------------|----------------------|---------------|---|------------|
|                      |                  | найменування                           | К-ть |                              |   |                | код                  | найменування  | максимальні   | мінімальні |
| Котельня             | 1                | Котел Е9/1                             | 1    | 1.0                          | 0.19                                    | 125            | 0313                 | Оксиди азоту  | 0.026   | 0.085      |
| Котельня             | 2                | Котел водогр.                          | 1    | 1.0                          | 0.1                                     | 120            | 0211                 | Оксид вуглецю | 0.21  | 5.0        |
| Кузня                | 3                | Горн                                   | 1    | 1.0                          | 0.42                                    | 110            | 2332                 | Зола          | 0.85  | 0.5        |
|                      |                  |  |      |                              |   |                |                      | Діоксид сірки | 0.33  |            |



продовження табл. 5.9

|                         |   |                     |   |     |      |    |  |  |                |              |
|-------------------------|---|---------------------|---|-----|------|----|--|--|----------------|--------------|
| Зварювальний пост       | 4 | Зварювальний апарат | 1 | 1.0 | 0.59 | 21 |  | Оксид заліза<br>Діоксид марганцю                 | 0.002<br>0.003 | 0.04<br>0.01 |
| Вулканізація            | 5 | Вулканізатор        | 1 | 1.0 | 0.59 | 21 |  |  |                |              |
| Заправка автотранспорту | 6 | Резервуар           | 1 | 1.0 | 0.59 | 21 |  | Пари бензину розлитого<br>Пари бензину паливного | 0.038<br>0.002 | 5.0<br>0.05  |

### Розрахунок максимальних приземних концентрацій

Розрахунок забруднення приземного шару атмосфери проводиться згідно методики розрахунку концентрацій в приземному шарі атмосфери шкідливих речовин, які містяться у викидах промислових підприємств ОНД-86.

Таблиця 5.10

### Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин

| Найменування джерела викиду | Висота джерела викиду, м | Діаметр джерела викиду, м | Характеристика пило повітряної суміші |                |      | Забруднююча речовина |  | Визначена потужність викиду            |  |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------|------|----------------------|--|--|--|
|                             |                          |                           | Об'єм, м <sup>3</sup> /сек            | Швидкість, м/с | Т° С | Код                  | Найменування забруднюючої речовини   | г/с                                    | т/рік                                  |
| труба                       | 30                       | 0,5                       | 0,19                                  | 0,963          | 125  | 0313                 | Оксиди азоту   | 0,2226                                 | 3,2447                                 |
| труба                       | 30                       | 0,5                       | 0,1                                   | 0,51           | 120  | 0211                 | Оксид вуглецю  | 1,8001                                 | 26,2399                                |
| труба                       | 7,0                      | 0,4                       | 0,42                                  | 3,34           | 110  | 2332                 | Зола<br>Діоксид сірки  | 2,3878<br>2,7625                       | 34,8082<br>40,2696                     |
| Неорганізований викид       | 10,0                     | 0,5                       | 0,59                                  | 3,006          | 21   |                      | Оксид заліза<br>Діоксид марганцю<br>Пари бензину роз.<br>Пари бензину палив. | 0,00018<br>0,000024<br>0,0003<br>0,027 | 0,00266<br>0,00035<br>0,0045<br>0,3987 |

Розрахунок приземної концентрації шкідливих речовин при викидах газоповітряної суміші від одинарного, стаціонарного джерела з круглим гирлом розраховується за формулою:

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{V \Delta T_1}} \eta ;$$

де  $A$  – коефіцієнт безрозмірний, який залежить від температурної стратифікації атмосфери. Значення  $A$  для України: зона, розташована північніше 52° пн. ш. становить 160, від 50 до 52° півн. ш –  $A=180$ , а південніше 50° –  $A=200$ ).

$F$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість



осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Для газоподібної речовини та аерозолів швидкість до упорядкованого осідання яких рівна 0 то коефіцієнт  $m=1$ , Для шкідливих речовин крупніших за розмірами залежить від коефіцієнту очистки викидів, очистка відсутня  $F=3$ ; очистка не менше 90%  $F=2$ ; очистка при 70–90%  $F=2,5$ .

$M$  – потужність викиду шкідливої речовини, г/с.

$m, n$  – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші із устя джерела викиду. Коефіцієнти  $m, n$  знаходяться в залежності від параметрів  $f, v_m, v_m', f_e$ ;

$\eta$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості, Береться на основі аналізу картографічного матеріалу до 50 найбільших висот, але в радіусі не більше 2 км від джерела викиду. У випадку пересічної місцевості з перепадом висот не більше як 50/км  $\eta = 1$ ;

$H$  – висота джерела викиду над рівнем землі, м;

$V_1$  – об'ємна витрата газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с, розраховується за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_0, \text{ м}^3/\text{с};$$

$D$  – діаметр гирла джерела викиду, м;

$\omega_0$  – середня швидкість виходу газоповітряної суміші із джерела викиду (м/с);

$\Delta T$  – (°C) – різниця між температурою газоповітряної суміші та температурою навколишнього повітря – середньомісячною за даними найтеплішого місяця року.

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T}$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}$$

$$v_m' = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H}$$

$$f_e = 800 (v_m')^3$$

Коефіцієнт  $m$  знаходиться за формулою:





$$\text{Якщо } f < 100 \text{ то } m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}};$$

$$\text{Якщо } f \geq 100 \text{ то } m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}.$$

Коефіцієнт  $n$  знаходиться в залежності від параметрів  $f$  і  $v_m$  за формулами:

$$\text{Якщо } f < 100 \text{ то } n = 1 \text{ при } v_m \geq 2$$

$$n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2;$$

$$n = 4,4 v_m \text{ при } v_m < 0,5;$$

При  $f \geq 100$  або  $T = 0$  коефіцієнт розраховують за формулою

$$n = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}};$$

якщо  $f \geq 100, \Delta T = 0$  то при розрахунках нормальних приземних концентрацій ведеться за формулою



$$C_m = \frac{AMFm\eta}{H^{4/3}} \cdot K.$$

$$K = \frac{D}{8 \cdot V_1} = \frac{1}{7,1 \cdot \sqrt{\omega_0 V_1}}.$$

У випадку, якщо  $f < 100$  та при  $v_m < 5$  або  $f \geq 100$  та  $v'_m < 5$  то (випадки малих швидкостей вітру) розрахунок максимально приземних концентрацій за формулою

$$C_m = \frac{AMFm}{H^{4/3}} \eta;$$

$$\text{де } m' = 2,86m \text{ при } f < 100, v_m \leq 5;$$

$$m' = 0,9 \text{ при } f \geq 100, v_m \leq 5;$$

Наведений алгоритм розрахунку відноситься до нормальних метеорологічних умов. Окремо слід розглядати небезпечні швидкості вітру, температури повітря, випадки туманів та температурних інверсій. При прогнозі несприятливих умов слід враховувати, що ці явища нетривалі і вірогідність їх появи не перевищує 1–2%.

Розрахунки наведено нижче.

Розрахуємо максимальну приземну концентрацію для



оксиду азоту, який викидається із джерела № 1. Як було вище сказано:

$$A=180, F=3, \eta=1.$$

Так, як температура оксиду азоту  $125^{\circ}\text{C}$ , а середньомісячна температура найтеплішого місяця року дорівнює  $19,8^{\circ}\text{C}$ , то  $\Delta T=105,2^{\circ}\text{C}$ ,  $\omega_0 = 0,963\text{ м/с}$ ,  $V=0,19\text{ м}^3/\text{с}$ ,  $D=0,5\text{ м}$ ,  $H=30\text{ м}$ ,  $M=0,2226\text{ г/с}$ .

А тепер розрахуємо параметри  $f_e$ ,  $f$ ,  $v_m$ ,

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T} = 1000 \frac{0,963^2 \cdot 0,5}{30^2 \cdot 105,2} = 1000 \frac{0,4636845}{95400} = 0,005;$$

$$Vm = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{0,19 \cdot 105,2}{30}} = 0,56;$$

$$v_m' = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H} = 1,3 \frac{0,963 \cdot 0,5}{30} = 0,02;$$

$$f_e = 800 (v_m')^3 = 800 \cdot 0,02^3 = 0,006.$$

Так, як  $f=0,005 < 100$ , то коефіцієнт  $m$  знаходиться за формулою:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,005} + 0,34\sqrt[3]{0,005}} = \frac{1}{0,73} = 1,36.$$

Так як  $f=0,005 < 100$ , а  $0,5 \leq Vm < 2$ , то коефіцієнт  $n$  знаходиться за формулою

$$n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 = 0,532 \cdot 0,56^2 - 2,13 \cdot 0,56 + 3,13 = 2,10.$$

Максимальна приземна концентрація оксиду азоту

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} = \frac{180 \cdot 0,2226 \cdot 3 \cdot 1,36 \cdot 2,10 \cdot 1}{30^2 \sqrt[3]{0,19 \cdot 105,2}} = 0,14 (\text{м}^3 / \text{с}).$$

### Холодні викиди

#### Оксид заліза

$M=0,00018\text{ г/с}$ ;  $V_l=0,59\text{ м}^3/\text{с}$ ;  $H=10\text{ м}$ ,  $\Delta T=0$  (не враховуємо),  $D=0,5$ ;

$$\omega_0 = 3,006\text{ м/с}.$$

$$f = 1000 \frac{3,006^2 \cdot 0,5}{10^2} = 45,18;$$



$$Vm = 0,653 \sqrt{\frac{0,59}{10}} = 0,25;$$

$$v_m' = 1,3 \frac{3,006 \cdot 0,5}{10} = 0,2;$$

$$f_e = 800 \cdot 0,2^3 = 6,4.$$

Так, як  $f < 100$ , то

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{45,18} + 0,34\sqrt[3]{45,18}} = 0,40.$$

Так як  $f < 100$ , а  $Vm < 0,5$ , то коефіцієнт  $n$  знаходиться за формулою:

$$n = 4,4 Vm = 4,4 \times 0,25 = 1,1.$$

Звідси, оскільки  $f < 100$ , та  $Vm < 0,5$  то

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot \eta}{H^{\frac{7}{3}}} = \frac{180 \cdot 0,00018 \cdot 3 \cdot 1,14 \cdot 1}{10^{\frac{7}{3}}} = 0,00051 (m^3 / c);$$

$$m' = 2,86 m = 2,86 \cdot 0,40 = 1,14.$$

Розрахунок максимальної приземної концентрації для інших шкідливих речовин зводимо у таблицю 5.11.

Таблиця 5.11

Характеристика максимальної приземної концентрації  
для шкідливих речовин

| №              | Забруднююча речовина | A   | M, г/с  | F | η | H, м | V, м³/с | D, м | W₀, м/с | ΔT, °C | f <sub>e</sub> | f      | V <sub>m</sub> | V' <sub>m</sub> | m    | n    | C <sub>m</sub> | ГДК, м³/с |
|----------------|----------------------|-----|---------|---|---|------|---------|------|---------|--------|----------------|--------|----------------|-----------------|------|------|----------------|-----------|
| 1              | Оксид азоту          | 180 | 0,2226  | 3 | 1 | 30,0 | 0,19    | 0,5  | 0,963   | 105,2  | 0,006          | 0,005  | 0,56           | 0,02            | 1,36 | 2,1  | 0,14           | 0,4       |
| 2              | Оксид вуглецю        | 180 | 1,8001  | 3 | 1 | 30,0 | 0,1     | 0,5  | 0,51    | 100,2  | 0,001          | 0,0014 | 0,44           | 0,011           | 1,41 | 1,94 | 1,94           | 5         |
| 3              | Зола                 | 180 | 2,3878  | 3 | 1 | 7,0  | 0,42    | 0,4  | 3,34    | 90,2   | 12,5           | 1,01   | 1,14           | 0,25            | 0,90 | 1,39 | 9,80           | 0,3       |
| 3              | Діоксид сірки        | 180 | 2,7625  | 3 | 1 | 7,0  | 0,42    | 0,4  | 3,34    | 90,2   | 12,5           | 1,01   | 1,14           | 0,25            | 0,90 | 1,39 | 11,33          | 0,05      |
| Холодні викиди |                      |     |         |   |   |      |         |      |         |        |                |        |                |                 |      |      |                |           |
| 4              | Оксид заліза         | 180 | 0,00018 | 3 | 1 | 10,0 | 0,59    | 0,5  | 3,006   | 2      | 6,4            | 45,18  | 0,25           | 0,20            | 0,42 | 8,8  | 0,006          | 0,04      |



|   |                   |     |          |   |   |      |      |     |       |   |     |       |      |      |      |     |         |      |
|---|-------------------|-----|----------|---|---|------|------|-----|-------|---|-----|-------|------|------|------|-----|---------|------|
| 4 | Діоксид марганцю  | 180 | 0,000024 | 3 | 1 | 10,0 | 0,59 | 0,5 | 3,006 | 2 | 6,4 | 45,18 | 0,25 | 0,20 | 0,42 | 8,8 | 0,00008 | 0,01 |
| 6 | Пари бензину роз. | 180 | 0,00031  | 3 | 1 | 10,0 | 0,59 | 0,5 | 3,006 | 2 | 6,4 | 45,18 | 0,25 | 0,20 | 0,42 | 8,8 | 0,0001  | 0,05 |
| 6 | пари бензину пал. | 180 | 0,027    | 3 | 1 | 10,0 | 0,59 | 0,5 | 3,006 | 2 | 6,4 | 45,18 | 0,32 | 0,20 | 0,48 | 8,8 | 0,09    | 0,05 |

Порівнявши розрахунки максимальної приземної концентрації забруднюючих речовин бачимо, що такі речовини як зола, діоксид сірки (джерело викидів труба № 3), пари бензину паливного перевищують ГДК. Зола перевищує ГДК в 32,6 рази, діоксид сірки – більше ніж в 200 разів, пари бензину паливного – в 1,8 рази.

#### *Розрахунок розсіювання шкідливих речовин*

Коли газоповітряна суміш викидається із джерела, має місце розсіювання забруднюючих речовин, які входять у її склад, навколо джерела викиду. Це призводить до динамічної зміни приземних концентрацій з віддаленням від джерела.

При нормальних умовах чим вище джерело викиду, тим менша концентрація домішок в приземному шарі і тим на більшу віддаль будуть розсіюватись домішки.

Значення небезпечної швидкості вітру (м/с) на рівні джерела (10 м над поверхнею землі) при якій досягається значення максимальної приземної концентрації у випадку, якщо  $f < 100$ , визначається:

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m \leq 5;$$

$$u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2$$

$$u_m = \frac{v_m}{1,2} \text{ при } v_m > 2.$$

Якщо  $f \geq 100$ ,  $\Delta T = 0$ , то значення небезпечної швидкості вітру  $U_m$  визначається за такими формулами:

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m \leq 5;$$

$$u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2;$$

$$u_m = 1,2 v_m \text{ при } v_m > 2.$$



Віддаль  $x_m$  від джерела викиду в м, на якій приземні концентрації при несприятливих метеорологічних умовах досягають максимуму, знаходять за формулою

$$X_m = \frac{5-F}{4} d \cdot H,$$

де  $d$  – безрозмірний коефіцієнт, який при  $f < 100$  розраховується як

$$d = 2,48 (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } V_m \leq 0,5;$$

$$d = 4,95 V_m (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < V_m \leq 2;$$

$$d = 7 \sqrt{V_m} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) \text{ при } V_m > 2.$$

При  $f \geq 100$ ,  $\Delta T = 0$  значення  $d$  визначається

$$d = 5,7 \text{ при } V_m \leq 0,5;$$

$$d = 11,4 V_m \text{ при } 0,5 < V_m \leq 2;$$

$$d = 1,6 \sqrt{V_m} \text{ при } V_m > 2.$$

Радіус  $x$  від джерела викиду, по якому розраховується приземна концентрація, при розсіювання, визначається розрахунковим кроком, що залежить від класу шкідливості підприємства. Для підприємств I і II класу шкідливості крок розрахунку 250 м, для IV класу 50 м, для V класу 25 м, для III класу 100 м. Розрахунок розсіювання ведеться в радіусі до 50 висот найвищого джерела викиду, але не менше як 2 км. Клас шкідливості визначається за санітарними нормами і правилами проектування підприємств промисловості.

При небезпечній швидкості концентрація домішок на різних відстанях від джерела викиду знаходиться за формулою

$$C = C_m \cdot S_i,$$

де  $S_i$  – безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від співвідношення  $x/x_m$ , та коефіцієнта  $F$ ;  $x_m$  – віддаль на якій спостерігається значення  $C_m$ ;  $x$  – віддаль на якій проводиться визначення і вона залежить від класу шкідливості підприємства.

$$S_i = 3 \left( \frac{x}{x_m} \right)^4 - 8 \left( \frac{x}{x_m} \right)^3 + 6 \left( \frac{x}{x_m} \right)^2; \text{ при } x/x_m \leq 1;$$



$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \frac{x}{x_m} + 1}; \text{ при } 1 \leq x/x_m \leq 8;$$

$$S_1 = \frac{\frac{x}{x_m}}{3,58 \frac{x}{x_m} + 35,2 \frac{x}{x_m + 120}} \text{ при } f \leq 1,5 \text{ та } x/x_m > 8;$$

$$S_1 = \frac{1}{0,1 \frac{x}{x_m} + 2,47 \frac{x}{x_m} - 17,8}; \text{ при } F > 1,5 \text{ та } x/x_m > 8;$$

Для низьких та наземних джерел, висота  $H$  яких не більше 10 м, при значенні  $x/x_m < 1$ , величина  $S_1$  у формулі заміняється на значення  $S_1^H$  і знаходиться за формулою

$$S_1^H = 5(10-H) + 0,125(H-2) S_1.$$

Всі дані по даному розрахунку заносимо до таблиці 5.12, яка використовується для побудови епюри розсіювань.

Розрахунок будемо проводити лише для речовин, у яких  $C_m$  перевищує ГДК: у нашому випадку це зола, діоксид сірки, пари бензину паливного.

Зола:

Оскільки  $f < 100$ ,  $0,5 < v_m \leq 2$   $u_m = v_m = 1,14$

$$d = 4,95 \cdot 1,14 (1 + 0,28 \sqrt[3]{1,01}) = 7,23, \text{ а}$$

$$X_m = \frac{5-1}{4} 7 \cdot 7,23 = 25,31 \text{ м.}$$

Таблиця 5.12

Результати розрахунку небезпечної швидкості вітру та віддалі

| Забруднюючі речовини   | $U_m$ | $d$  | $x_m, \text{ м}$ |
|------------------------|-------|------|------------------|
| Зола                   | 1,14  | 7,23 | 21,35            |
| Діоксид сірки          | 1,14  | 7,23 | 21,35            |
| Пари бензину паливного | 0,5   | 4,98 | 24,9             |

Згідно «Санітарних норм і правил проектування підприємств» Київський держлісгосп належить до 4 класу шкідливості, тому  $x = 50$  м.



Отже:

Зола:

$$50/21,35=1,97$$

$$S_1=1,33 / 0,13(1,97^2+1)=0,74$$

$$C_1=0,7 \cdot 9,8 = 6,86 \text{ мг/м}^3$$

$$100/ 21,35=3,95$$

$$S_2=1,33 / 0,13(3,95^2+1)=0,37$$

$$C_2=0,37 \cdot 9,8 = 3,63 \text{ мг/м}^3$$

$$150/21,35=5,93$$

$$S_3=1,33 / 0,13(5,93^2+1)=0,20$$

$$C_3=0,20 \cdot 9,8 = 1,96 \text{ мг/м}^3$$

$$200/21,35=7,90$$

$$S_4=1,33 / 0,13(7,90^2+1)=0,12$$

$$C_4=0,12 \cdot 9,8 = 1,18 \text{ мг/м}^3$$

$$250/21,35=9,88$$

$$S_5 = \frac{1}{0,1 \cdot 9,88^2 + 2,47 \cdot 9,88 - 17,8} = 0,062;$$

$$C_5=0,062 \cdot 9,8 = 0,60 \text{ мг/ м}^3$$

$$300/21,35=11,85$$

$$S_6 = \frac{1}{0,1 \cdot 11,85^2 + 2,47 \cdot 11,85 - 17,8} = 0,044;$$

$$C_6=0,044 \cdot 9,8 = 0,44 \text{ мг/ м}^3$$

$$350/21,35=13,83.$$

$$S_7 = \frac{1}{0,1 \cdot 13,83^2 + 2,47 \cdot 13,83 - 17,8} = 0,028;$$

$$C_7=0,028 \cdot 9,8 = 0,28 \text{ мг/ м}^3.$$

Так, як на кроці розрахунку 350 м розрахункове значення менше ГДК, то розрахунок для даної речовини припиняємо.

Таблиця 5.13

Результати розрахунку концентрацій шкідливих домішок по осі факелу викиду на різних віддальх  $X_m$  від джерела викиду для золи

| Крок розрахунку | $x/x_m$ | $S$   | $C_m,$<br>$мг/м^3$ | $C,$<br>$мг/ м^3$ | ГДК,<br>$мг/м^3$ |
|-----------------|---------|-------|--------------------|-------------------|------------------|
| 50              | 1,97    | 0,74  | 9,80               | 6,86              | 0,3              |
| 100             | 3,95    | 0,37  |                    | 3,63              |                  |
| 150             | 5,93    | 0,20  |                    | 1,96              |                  |
| 200             | 7,90    | 0,12  |                    | 1,18              |                  |
| 250             | 9,88    | 0,062 |                    | 0,60              |                  |
| 300             | 11,85   | 0,044 |                    | 0,44              |                  |
| 350             | 13,83   | 0,028 |                    | 0,27              |                  |

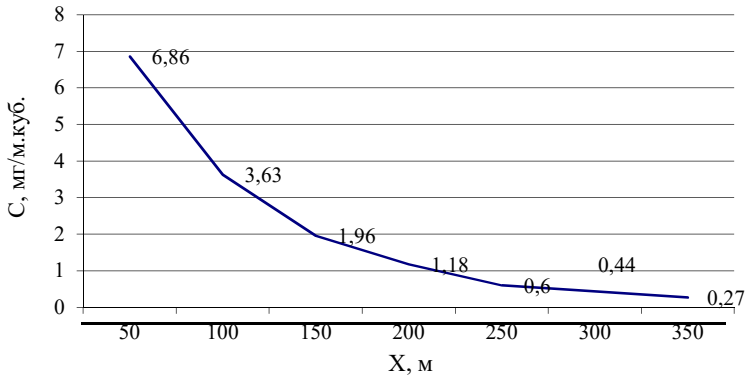


Рис. 5.16. Епюра розсіювання золи

Таблиця 5.14

Результати розрахунку концентрацій шкідливих домішок по осі факелу викиду на різних відстанях  $X_m$  від джерела викиду для діоксиду сірки

| Крок розрахунку | $x/x_m$ | $S$    | $C_m, \text{мг/м}^3$ | $C, \text{мг/м}^3$ | $\Gamma ДК, \text{мг/м}^3$ |
|-----------------|---------|--------|----------------------|--------------------|----------------------------|
| 50              | 1,97    | 0,74   | 11,33                | 7,93               | 0,05                       |
| 100             | 3,95    | 0,37   |                      | 4,19               |                            |
| 150             | 5,93    | 0,20   |                      | 2,27               |                            |
| 200             | 7,90    | 0,12   |                      | 1,36               |                            |
| 250             | 9,88    | 0,062  |                      | 0,70               |                            |
| 300             | 11,85   | 0,044  |                      | 0,5                |                            |
| 350             | 13,83   | 0,028  |                      | 0,32               |                            |
| 400             | 15,15   | 0,023  |                      | 0,27               |                            |
| 450             | 17,78   | 0,017  |                      | 0,20               |                            |
| 500             | 19,75   | 0,014  |                      | 0,16               |                            |
| 600             | 21,73   | 0,0103 |                      | 0,12               |                            |
| 700             | 23,70   | 0,0078 | 0,089                |                    |                            |
| 800             | 27,65   | 0,0056 | 0,063                |                    |                            |
| 900             | 31,60   | 0,0050 | 0,057                |                    |                            |
| 1000            | 35,55   | 0,0042 | 0,048                |                    |                            |



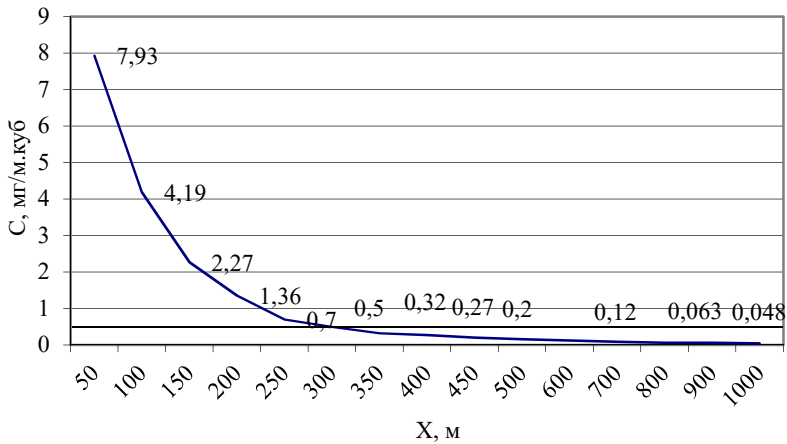


Рис. 5.17. Епюра розсіювання діоксиду сірки

Таблиця 5.15  
 Результати розрахунку концентрацій шкідливих домішок по осі факелу викиду на різних віддальх  $X_m$  від джерела викиду для парів бензину пал.

| Крок розрахунку | $x/x_m$ | $S$  | $C_m, \text{мг}/\text{м}^3$ | $C, \text{мг}/\text{м}^3$ | $ГДК, \text{мг}/\text{м}^3$ |
|-----------------|---------|------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 50              | 2,01    | 0,74 | 0,09                        | 0,07                      | 0,05                        |
| 100             | 4,02    | 0,36 |                             | 0,03                      |                             |

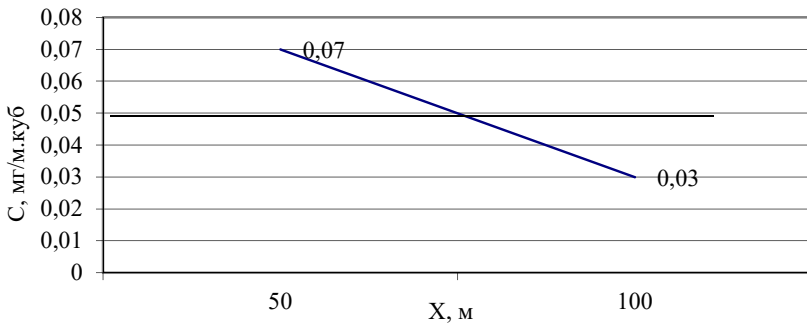


Рис. 5.18. Епюра розсіювання парів бензину паливного



Побудовані епюри розсіювання забруднюючих речовин, значення  $C_m$  яких перевищує ГДК, показують нам віддалі на яких дані речовини досягають значення ГДК.

Найбільша віддаль розсіювання у діоксиду сірки – 930 м.

*Розрахунок приземних концентрацій від груп сумачій та розсіювання груп сумачій*

Якщо в повітрі одночасно знаходиться декілька шкідливих речовин, які підсилюють дію одна одної, то виникає ефект сумачій. Така явище призводить до посилення негативного впливу на довкілля та на організм людини.

Максимальну приземну концентрацію для групи сумачій розраховують з використанням потужності викиду  $Mg$ :

$$Mg = \frac{M_1}{ГДК_1} + \frac{M_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{M_n}{ГДК_n} (z/c),$$

де  $V_{1, 2, n}$  – потужність викиду речовин, що входять до групи сумачій;  $ГДК_{1, 2, n}$  – ГДК.

Весь подальший розрахунок проводимо за даними першої речовини, що водить до групи сумачій. Тобто стоїть першою в групі.

$$Mg = \frac{0.2226}{0.4} + \frac{2.3878}{0.3} + \dots + \frac{2.7625}{0.05} = 61.7658(z/c).$$

Оскільки першою речовиною в групі сумачій є оксид азоту, то:

| Забруднююча речовина | $A$ | $M, z/c$ | $F$ | $\eta$ | $H, m$ | $V, m^3/c$ | $D, m$ | $W_0, m/c$ | $\Delta T, ^\circ C$ | $f_e$ | $f$   | $V_m$ | $V'_m$ | $m$  | $n$ | $C_m$ | $ГДК, m^3/c$ |
|----------------------|-----|----------|-----|--------|--------|------------|--------|------------|----------------------|-------|-------|-------|--------|------|-----|-------|--------------|
| Оксид азоту          | 180 | 0,2226   | 3   | 1      | 30,0   | 0,19       | 0,5    | 0,963      | 105,2                | 0,006 | 0,005 | 0,56  | 0,02   | 1,36 | 2,1 | 0,14  | 0,4          |

Всі розрахунки проводимо за формулами наведеними в вище.



$$C_m = \frac{180 \cdot 61.7658 \cdot 3 \cdot 1.36 \cdot 2,1 \cdot 1}{30^2 \sqrt[3]{0.19 \cdot 105.2}} = 37,62 (\text{мг} / \text{м}^3).$$

Видно, що розрахована максимальна приземна концентрація значно перевищує ГДК (0,4 мг/м<sup>3</sup>).

Для визначення віддалі на якій спостерігається максимальна приземна концентрація використовуємо формулу

$$d = 2,48 (1 + 0.28 \sqrt[3]{0.005}) = 2,6, \text{ а } X_m = \frac{5-1}{4} 2,6 \cdot 30 = 39 \text{ м,}$$

Приземну концентрацію шкідливих домішок по осі факелу викиду на різних віддалях  $X_m$  і при різній швидкості  $U_m$  знаходимо за формулою

$$C = S_l \cdot C_m.$$

Всі дані по даному розрахунку заносимо до таблиці, яка використовується для побудови епюри розсіювання.

Таблиця 5.16

Результати розрахунку концентрації шкідливих домішок по осі факелу викиду по різних віддалях  $X_m$  від джерела викиду для групи сумацій

| $X$ | $X/X_m$ | $S_l$ | $C_m,$<br><i>мг/м куб</i> | $C,$<br><i>мг/м куб</i> | $ГДК,$<br><i>мг/м куб.</i> |
|-----|---------|-------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 50  | 1,28    | 0,93  | 37,62                     | 35                      | 0,5                        |
| 100 | 2,56    | 0,61  |                           | 23                      |                            |
| 150 | 3,85    | 0,38  |                           | 14,2                    |                            |
| 200 | 5,13    | 0,25  |                           | 9,6                     |                            |
| 250 | 6,41    | 0,18  |                           | 6,7                     |                            |
| 300 | 7,69    | 0,13  |                           | 4,9                     |                            |
| 350 | 8,97    | 0,08  |                           | 3                       |                            |
| 400 | 10,26   | 0,05  |                           | 1,9                     |                            |
| 550 | 14,1    | 0,027 |                           | 1                       |                            |
| 600 | 15,4    | 0,02  |                           | 0,75                    |                            |
| 700 | 17,95   | 0,017 |                           | 0,64                    |                            |
| 750 | 19,23   | 0,014 |                           | 0,5                     |                            |
| 800 | 20,51   | 0,013 |                           | 0,48                    |                            |

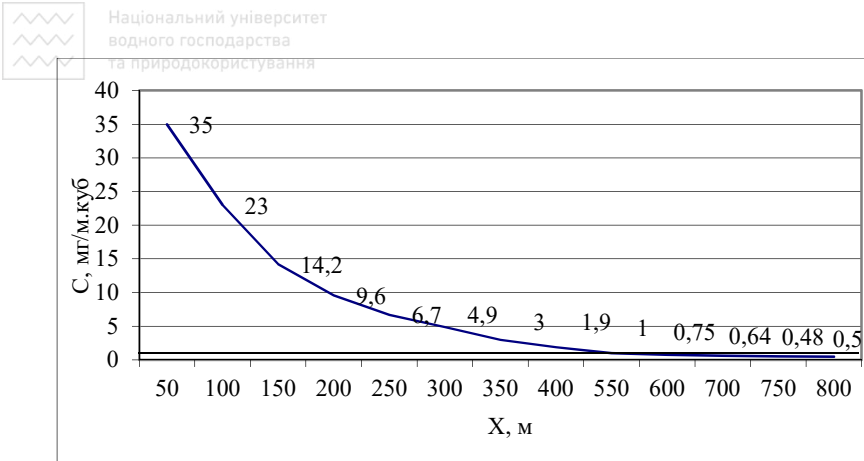


Рис. 5.19. Епора розсіювання групи сумаций

Потужність викиду групи сумаций значно перевищує значення потужностей викиди окремих речовин. Згідно епюри розсіювання ми бачимо, що відстань на якій дана речовина досягає ГДК становить 750 м.

#### **Уточнення розмірів СЗЗ за розвою вітрів**

*Санітарно-захисні зони* – це ділянки землі навколо підприємств, які створюють з метою зменшення шкідливого впливу цих підприємств на здоров'я людини. Їх розташовують з підвітряного боку підприємств і засаджують деревами й чагарниками. Вони мають вигляд парків чи лісопарків. У цих зонах можна розташувати адміністративно-службові приміщення, склади, гаражі, депо, лазні, торгові центри.

Залежно від шкідливості забруднювачів, що викидаються, й можливості їх очистки: кожне підприємство відносять до того чи іншого класу шкідливості. Відповідно до цього за розмірами розрізняють 5 класів санітарно-захисних зон.

СЗЗ встановлюється від джерела шкідливості до межі житлової забудови. На зовнішній межі СЗЗ концентрація має бути рівною ГДК.

Державними санітарними правилами забудови міських і сільських поселень встановлено 5 класів шкідливості підприємств. Розміри СЗЗ для кожного класу шкідливості підприємств:



- 1 клас – 3000 – 1000 м;
- 2 клас – 500 м;
- 3 клас – 300 м;
- IУ клас – 100 м; У клас – 50 м.

Розміри СЗЗ можуть бути зменшенні або збільшенні (не більше як у 3 рази) при наявності відповідних техніко-економічних розрахунків.

В межах СЗЗ може бути розташовано:

- адміністративні споруди;
- складські приміщення;
- стоянки автотранспорту;
- пожежне депо, бані, лазні;
- підприємства меншого класу шкідливості ніж дане, при умові що викиди обох підприємств не створять абсолютного ефекту сумації;

- поліклініки, які обслуговують працівників підприємства;
- навчальні заклади, які готують працівників для даного підприємства.

Категорично забороняється розташовувати в межах СЗЗ жилі приміщення та заклади культурного характеру.

Територія СЗЗ повинна бути озеленена. Мінімальна площа озеленення залежить від розміру СЗЗ і складає при ширині зони:

- до 300 м – 60%;
- від 300 м до 100 м – 50%;
- менше 100 м – 40%.

Зі сторони селітебних територій передбачають полосу чагарників шириною не менше 50м, а при ширині зони до 100м не менше 20м.

Розрахункові значення розмірів уточнюються згідно рози вітрів для кожного румбу окремо за формулою

$$l = l_0 \frac{P}{P_0}, \text{ м},$$

де  $l_0$  – розрахована віддаль, на якій значення максимальних приземних концентрацій досягають ГДК, м;

$P$  – повторюваність вітрів при восьмирумбовій круговій розі вітрів:



$$P_o = 100/8 = 12,5\%$$

Згідно з епорами розсіювань  $\ell_o$  – найбільше  $\ell_o = 280$  м, отже розрахунок проводимо саме по цій величині.

$$\text{Пн. } \ell = 930 (12,8/12,5) = 157 \text{ м.}$$

Таблиця розрахунків уточнення СЗЗ

| Напрямок вітру | $\ell_o$ , м | $P_o$ , % | $P$  | $\ell$ , м |
|----------------|--------------|-----------|------|------------|
| Пн             | 930          | 12,8      | 12,5 | 952        |
| ПнС            | 930          | 10,8      | 12,5 | 803        |
| Сх             | 930          | 10,9      | 12,5 | 810        |
| ПдСх           | 930          | 13,4      | 12,5 | 996        |
| Пд             | 930          | 10,7      | 12,5 | 796        |
| ПдЗх           | 930          | 10,8      | 12,5 | 803        |
| Зх             | 930          | 16,0      | 12,5 | 1190       |
| ПнЗх           | 930          | 14,6      | 12,5 | 1086       |

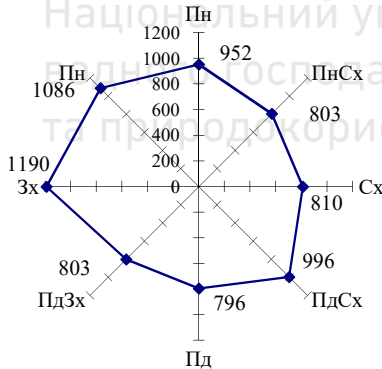


Рис. 5.20. Уточнена СЗЗ згідно рози вітрів

Провівши відповідні розрахунки по уточненню розмірі СЗЗ, ми можемо сказати, що розраховані розміри СЗЗ не відповідають нормативним. Згідно уточнення розмір СЗЗ перевищує нормативний 8-11 разів в залежності від напрямку вітру.

#### **Розрахунок ГДВ підприємства**

Граничнодопустимий викид (ГДВ) – це такий викид (г/с), від одного промислового підприємства, який в сукупності з



викидами від інших джерел міста із врахуванням перспектив їх розвитку та розсіювання шкідливих речовин не створюють в приземному шарі атмосфери концентрації, яка буде перевищувати ГДК.

ГДК встановлюється як для діючих підприємств так і для тих, що проектуються. Розрахунок значень ГДВ здійснюється згідно методики ОНД-86 із врахуванням перспективи розвитку підприємства, фізико-географічними та кліматичними умовами місцевості, а також існуючої забудови взаємного розташування промислових підприємств, селітебних, рекреаційних територій.

ГДВ встановлюється для умов повного завантаження технологічного обладнання та нормальної роботи газоочисних споруд і не повинні перевищуватися в будь-якій двадцятихвилинний проміжок часу. Значення ГДВ встановлюється окремо для кожного джерела викиду. Ті джерела викиду, які можуть бути об'єднані в групу, для них може встановлюватися ГДВ одноразове.

Крім того, ГДВ встановлюється для підприємства в цілому, якщо викиди постійні в часі, то по даній шкідливій речовині ГДВ для підприємства в цілому визначається як сума, якщо викиди в часі непостійні, то значення ГДВ для підприємства по даній шкідливій речовині відповідає максимально – можливому значенню ГДВ, сумарне від всіх джерел при нормальній роботі технологічного та газоочисного обладнання.

При розрахунках ГДВ враховують фонові концентрації для кожної шкідливої речовини. Значення ГДВ для одинарного, стаціонарного джерела викиду з круглим гирлом знаходиться за формулою

$$ГДВ = \frac{(ГДК - C_{\phi})H^2}{\Delta F m n \eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}, \text{г/с}.$$

У випадку, якщо параметр  $f \geq 1000$  або  $\Delta T = 0$ , то ГДВ

$$\text{знаходять за формулою } ГДВ = \frac{(ГДК - C_{\phi})H^{\frac{4}{3}} 8V_1}{\Delta F n \eta D}, \text{г/с}.$$



Якщо джерело викиду з прямокутним гирлом, то розрахунок проводиться за такими формулами, але значення діаметра приймається як ефект, тобто  $D=De$ , і об'єм як  $V_l=V_{ie}$ .

*Розрахунок*

Всі вихідні дані для розрахунку беремо з розділу 3.1 і таблиці 3.1.

Отже, якщо спостереження за фоновими концентраціями не велося, то ними ми знехтуємо.

Тоді  $C\phi = 0$ .

Отже, для діоксиду азоту ГДВ дорівнює:

$$ГДВ = \frac{0,4 \cdot 30^2}{180 \cdot 3 \cdot 2,1 \cdot 1 \cdot 1,36 \cdot 1} \sqrt[3]{0,19 \cdot 105,2} = 0,63, \text{ г/с}.$$

Всі розрахунки граничнодопустимих викидів записуємо у табл. 5.17.

Таблиця 5.17

Розрахунок ГДВ забруднюючих речовин

| Забруднюючі речовини | ГДВ, г/с | Потужність, г/с |
|----------------------|----------|-----------------|
| Оксид азоту          | 0,63     | 0,2226          |
| Оксид вуглецю        | 0,81     | 1,8001          |
| Зола                 | 0,07     | 2,3878          |
| Діоксид сірки        | 0,012    | 2,7625          |
| Оксид заліза         | 0,001    | 0,00018         |
| Діоксид марганцю     | 0,0003   | 0,000024        |
| Пари бензину роз.    | 0,002    | 0,00031         |
| Пари бензину пал.    | 0,002    | 0,027           |

Враховуючи гранично допустимі викиди (ГДВ) за методикою ОНД-86 розрахунки проводилися для кожного джерела окремо, виявили, що потужність перевищує гранично допустимі викиди. Так викиди оксиду вуглецю в два рази більше ГДК, а викид золи майже в 240 разів, діоксиду сірки – в 1380 разів.





## РОЗДІЛ 6 ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

На ранніх етапах дослідження забруднення атмосферного повітря були розпочаті спроби представити математичний вираз для оцінки рівня і ступеня небезпеки забруднення кількісним показником з гігієнічної, а також з економічної, метеорологічної й іншої позицій. Запропоновано кілька підходів до оцінки стану атмосферного повітря населених міст. В основу гігієнічної оцінки забруднення атмосфери покладена ідея нормування фактичного рівня концентрації шкідливої речовини щодо санітарного регламенту, а також процедура приведення його класу небезпеки до стандарту.

Один з перших показників оцінки забруднення атмосфери був запропонований у роботі [64]. Пізніше одержав поширення показник забруднення атмосфери населених місць [67]:

$$P = \sqrt{\sum K_i^2}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (6.1)$$

де  $K_i$  – кратність перевищення концентрації  $i$ -ої речовини рівня ГДК, аналогічного періоду осереднення, приведена до такої для речовин 3-го класу небезпеки.

Базисною одиницею виміру показника служить відношення концентрації речовини ( $C$ ) до її ГДК, тобто

$$K_i = C_i / ГДК_i. \quad (6.2)$$

При  $C_i > ГДК_i$ , величина  $K_i$ , визначає кратність (ступінь) перевищення нормативу, який характеризує рівень небезпеки забруднення. Однак при  $C_i < ГДК_i$ ; значення  $K_i$  відбиває ступінь запасу недосягнення нормативу (резерву). За своїм математичним змістом формула визначає сумарну квадратичну величину відносних відхилень рівнів концентрацій домішок від їхніх нормативів. При цьому результат обчислення – величина завжди позитивна. В принципі його значення диктується



величиною найбільшого з індивідуальних відхилень. Якщо концентрації не всіх забруднювачів вище ГДК, то розрахункова величина результату має явно завищене значення. Формула допускає (теоретично) можливість парадоксального випадку рівності показника для суміші, усі речовини якої мають концентрацію вище ГДК, з показником для іншої суміші, усі речовини якої мають концентрації нижче ГДК. Показник має явно обмежену область застосування. Комплексним його назвати ніяк не можна навіть з натяжкою. Він не враховує специфіки викидів. У ньому не відбита частка участі кожної речовини у формуванні загального рівня забруднення, але він може характеризувати динаміку зміни при незмінній структурі суміші.

Як інтегральний критерій оцінки забруднення атмосфери було також запропоновано [66] середнє арифметичне значення величини відношення концентрації до ГДК:

$$K_n = (1/N) \sum (C_i / \text{ГДК}_i), \quad i = \overline{1, N}. \quad (6.3)$$

Спробу врахувати частку впливу кожного з речовин суміші у формуванні загального рівня забруднення було зроблено у роботі [66]. В якості комплексної оцінки забруднення атмосфери шкідливими домішками служило відношення узагальнених критеріїв фізичного та умовного забруднень:

$$K_g = \frac{\sum d_{ci} C_i}{\sum d_{ni} \text{ГДК}_i}, \quad (6.4)$$

де  $d_{ci}$ ,  $d_{ni}$  – відсоткова участь концентрації  $i$ -ої речовини у загальній сумі концентрацій (чи відповідно для ГДК).

Даному показнику треба віддати перевагу при порівняльній характеристиці забруднення повітряних басейнів з різною структурою шкідливих речовин.

Останнім часом одержав поширення у гігієнічних дослідженнях більш інформативний показник – індекс забруднення атмосфери міст [67]:



$$ІЗА = \sum a_i (b_i C_i / ГДК_i - P_i), i = \overline{1, N}, \quad (6.5)$$

де  $a_i$  – коефіцієнт, що враховує клас небезпеки  $i$ -ої речовини;  $b_i$  – коефіцієнт, що враховує ефект дії  $i$ -ої речовини;  $P_i$  – величина, що враховує поріг дії  $i$ -ої речовини.

Базисною одиницею виміру служить величина лінійного відхилення концентрації речовин від їхніх порогів дії. Результат визначається як сума лінійних відхилень, скорегованих з урахуванням ефекту дії окремих домішок і приведених до стандартного класу небезпеки. У приведеній формулі різниця між концентрацією речовини і порогом її дії характеризує величину лінійного відхилення рівня забруднення від санітарної норми незалежно від напрямку відхилення. Тому розрахунковий вираз за своїм математичним смислом допускає можливість негативного результату (чи нульового). Перше можливо у тому випадку, коли концентрації усіх домішок нижче їхніх порогів. В принципі у цьому немає протиріччя. Такий результат може служити ознакою відсутності небезпеки забруднення, але для збереження коректності обчислювальних операцій потрібно введення додаткової умови, що дозволяє відсівати «незначущі» домішки. При даній формі запису формули нульовий результат можливий у випадку взаємної компенсації позитивних і негативних значень відхилень, що взагалі то суперечить принципу критерію оцінки забруднення. Уникнути цього можна заміною у розрахунковій формулі величини лінійного відхилення на його абсолютну величину. Слід також зазначити, що у розглянутому показнику врахована лише частина видів ефекту спільної дії речовин – сумація, синергізм. Крім того, формула побудована так, що значення порога обмежені тільки величинами нуль чи ГДК. Це штучно звужує область її застосування.

Отже, застосування формули показника небезпеки забруднення ( $P$ ) чи формули індексу забруднення атмосфери (ІЗА) має сенс тільки при виконанні умови – концентрації усіх домішок повинні бути вище їхніх ГДК. Однак в дійсності найбільш типовим є випадок, коли із сукупності ( $N$ ) шкідливих речовин, рівень забруднення для частини з них ( $K_i$ ) перевищує



норматив  $k > 1$ ,  $k = C/\text{ГДК}$ , а для інших ( $N_2 = N_1 - N$  – він нижчий ( $k < 1$ )). Крім того, при спільній присутності шкідливих речовин у атмосферному повітрі їхня комбінована дія виявляється в ефектах сумачії, потенціювання, антагоністичної чи незалежної дії. При концентраціях, близьких до ГДК, при врахуванні класу небезпеки речовин і ефекту їхньої сумарної дії можлива зміна відношення  $k < 1$  на відношення  $k > 1$  і навпаки. Тому ігнорування класу небезпеки речовин при концентраціях нижче ГДК, а також ефекту спільної дії речовин є неправомірним.

Практичні потреби у порівняльній оцінці динаміки змін якості атмосфери обумовили розробку показників її фізичного стану, що характеризують наявність, склад і кількісний вміст шкідливих домішок у повітрі. Прикладом фізичного показника може служити вираз для розрахунку максимального значення приземної концентрації шкідливої речовини при викиді газоповітряної суміші джерелом, який рекомендований Держкомгидрометом для оцінки концентрації в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств, при проектуванні підприємств, а також при розробці нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ) для діючих та підприємств, що проектуються або реконструюються [67–68]. Одна з моделей фізичного індексу забруднення атмосфери широко застосовувалася в загальнодержавній системі спостереження і контролю за забрудненням атмосфери (ЗДССКА) [69; 70]:

$$ІЗА = \Sigma (C_i / \text{ГДК}_i)^{m_i}, \quad (6.6)$$

де  $m_i$  – показник ступеня, що враховує клас небезпеки домішки.

Формула індексу забруднення атмосфери має вигляд

$$ІЗА = \left(\frac{C_1}{0,1}\right)^{0,87} + \left(\frac{C_2}{0,05}\right) + \left(\frac{C_3}{0,085}\right)^{1,4} + \left(\frac{C_4}{0,5}\right)^{0,87}. \quad (6.7)$$

У даному показнику враховувалися тільки чотири основні домішки – пил, сірчистий газ, окис азоту й окис вуглецю. В подальшому ця модель перенесла модернізацію. Була зроблена



спроба врахувати ефект сумачії, синергізму та зняття обмеження на фіксовану кількість домішок, що враховуються [71; 72]. Формула набула наступного вигляду:

$$\text{ІЗА} = \sum_{i=1}^{N_1} \left[ \left( \frac{C_i}{\text{ГДК}_i} \right) - 1 \right] + \sum_{j=1}^{N_2} \left( \sum_{k=1}^K \frac{C_k}{\text{ГДК}_k} - 1 \right), \quad (6.8)$$

де  $i$  – для незалежних окремих домішок  $i = \overline{1, N_1}$ ;

$j$  – для синергічних груп домішок  $i = \overline{1, N_2}$ ;

$k$  – кількість домішок у  $j$ -й групі;

$m_i$  – показник степеня, що враховує клас небезпеки домішки, відповідно 1,7 для першого класу, 1,3 – для другого класу; 1 – для третього, 0,8 – для четвертого класу небезпеки.

Однак її основні методичні недоліки не усунуті й досі. Крім того, у роботі [73] запропоновано ще одне удосконалення, що передбачає більш повний облік результатів досліджень [74; 75; 76]. Так, були введені значення показника степеня для різних періодів осереднення. Умова ізоефективності нормованих концентрацій враховувалася застосуванням показника степеня, який дозволяє фактичну концентрацію речовини трансформувати в ізоефективну концентрацію речовини третього класу небезпеки. Крім того, незалежно від класу небезпеки для речовин, концентрація яких нижче ГДК умовно приймається значення показника, рівного одиниці.

Однак і після такої модернізації індекс забруднення ЗДССКА не позбавлений недоліків, про що відзначали і самі автори [73]. У ньому як і раніше не враховується ефект спільної дії домішок, а також накладені штучні умови розрахунку.

До таких недоліків відноситься насамперед припущення, що на людину справляє шкідливий вплив наявність у повітрі будь-якої кількості домішок. Однак відповідно до визначення ГДК, забруднюючі речовини незалежно від класу небезпеки, не справляють шкідливого впливу на людину при концентраціях нижче ГДК [75; 77; 78]. Крім того, якщо внаслідок комбінованої дії ефект окремих речовин при концентраціях нижче ГДК повинен бути врахований, то нормовану концентрацію не слід підносити до ступеня, тому що для 16 речовин 1 і 2 класів



небезпеки це приводить до зменшення результату у порівнянні з вихідним значенням. До того ж, комплексний індекс повинен формуватися з урахуванням реальної комбінованої дії шкідливих речовин. Вимога дотримання жорстко закріпленої кількості домішок, що враховуються, при порівнянні індексів для різних міст і періодів неминуче призводить до втрати частини інформації. Найчастіше саме в ній міститься специфіка її інформативності. Це утрудняє інтерпретацію результатів і таїть у собі можливість принципових помилок у кінцевій їхній оцінці.

Для забезпечення необхідного доступу до інформації про місцеву якість повітря, що може мати прямий вплив на їхнє здоров'я, впроваджено Європейський індекс якості повітря. Ця інформація, доступна кожному, є важливою основою для діалогу та рішень, які потрібні щоб захистити здоров'я людей, особливо в містах.

Європейський індекс якості повітря, промоутером якого є Європейська агенція довкілля (ЄАД, англ. EEA ) та Європейська комісія, дозволяє користувачам перевіряти поточну якість повітря у містах та регіонах Європи.

Нова онлайн-служба ЄАД та Європейської Комісії, Європейський індекс якості повітря (European Air Quality Index), надає інформацію про поточну якість повітря на основі вимірювань з більш ніж 2 000 станцій моніторингу в Європі.

Індекс представлений у вигляді інтерактивної карти, яка демонструє якість повітря на місцевому рівні за п'ятьма основними забруднюючими речовинами, які шкодять здоров'ю людей та навколишньому середовищу: частки (PM<sub>2,5</sub> і PM<sub>10</sub>), приземний озон (O<sub>3</sub>), діоксид азоту (NO<sub>2</sub>) та діоксид сірки (SO<sub>2</sub>).

Законодавство Європейського Союзу встановлює стандарти якості повітря, як короткострокові (погодинні / щоденні), так і довгострокові (річні). Індекс якості повітря в Європі показує короткострокову ситуацію з якістю повітря на кожній з більш ніж 2000 станцій моніторингу по всій Європі.

З метою приєднання України до Європейського індексу якості повітря прийнято постанову від 14.08.2019 № 827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони



атмосферного повітря». Відповідно неї в Україні здійснюється оцінка наявної мережі постів спостережень та відповідності даних встановленим вимогам якості. Розроблено форму програми державного моніторингу, за якою усі органи управління якості атмосферного повітря мають розробити такі програми для зон і агломерацій. Ведеться робота над підготовкою концепції розвитку системи моніторингу атмосферного повітря. Це створює основу для впровадження в Україні системи моніторингу якості повітря європейського рівня.

Українці мають доступ до дедалі більшої кількості мереж для ознайомлення з інформацією про індекс якості повітря та рівень його забруднення – серед них SaveEcoBot, EcoCity та ін.

Наприкінці 2020 року ПРООН в Україні реалізували партнерство з Європейським космічним агентством та його програмою EO Clinic, щоб протестувати застосування супутникових даних для розуміння забруднення повітря.

### **6.1. Приклад розрахунку комплексного індексу забруднення атмосфери**

Існує два основних напрямки використання зведених розрахунків при управлінні взаємодією людини й повітряного басейну й, відповідно, їхнього розвитку. У рамках першого напрямку розрахунки використовуються при визначенні нормативних, тобто граничнодопустимих (з погляду виконання екологічних вимог) значень характеристик джерел забруднення атмосфери (КІЗА). У рамках другого напрямку розрахунки використовуються для діагнозу стану якості атмосферного повітря, що відповідає тим або іншим реальним характеристикам КІЗА. Діагноз може ставитися як до існуючого забруднення атмосфери, так і до можливого забруднення повітря в прогнозованому майбутньому, наприклад, за проектними даними КІЗА. Природним розвитком зведених розрахунків, проведених із зазначеними діагностичними цілями, є створення систем розрахункового моніторингу забруднення повітряного басейну. Існує два основних напрямки використання зведених розрахунків при управлінні взаємодією



людини й повітряного басейну й, відповідно, їхнього розвитку. У рамках першого напрямку розрахунки використовуються при визначенні нормативних, тобто граничнодопустимих (з погляду виконання екологічних вимог) значень характеристик джерел забруднення атмосфери (КІЗА). У рамках другого напрямку розрахунки використовуються для діагнозу стану якості атмосферного повітря, що відповідає тим або іншим реальним характеристикам КІЗА. Діагноз може ставитися як до існуючого забруднення атмосфери, так і до можливого забруднення повітря в прогнозованому майбутньому, наприклад, за проектним даними КІЗА. Природним розвитком зведених розрахунків, проведених із зазначеними діагностичними цілями, є створення систем розрахункового моніторингу забруднення повітряного басейну.

Розраховуємо комплексний індекс забруднення атмосфери міста використовуючи в процесі розрахунків наступну формулу

$$KIZA = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_i}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \quad (6.9)$$

де  $q_i$  – середня концентрація окремої домішки (по місту), розрахована як середнє арифметичне концентрацій, виміряних на різних міських постах спостережень;  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація окремої домішки;  $a_i$  – константа, яка залежить від класу небезпечності речовини (дає змогу привести ступінь шкідливості окремої речовини до ступеня шкідливості діоксиду сірки). Значення її дорівнює 1,7; 1,3; 1,0 та 0,9 відповідно для 1-го, 2-го, 3-го та 4-го класів небезпечності домішок. Для окремого забруднювача значення небезпечності визначається за відповідними таблицями.

Згідно отриманого значення КІЗА оцінюємо стан атмосферного повітря якщо  $KIZA < 5$  – відносно нормальний рівень;  $KIZA = 5-6$  – підвищений рівень;  $KIZA = 7-13$  – високий рівень;  $KIZA > 14$  – дуже високий рівень.

Розрахунок комплексного індексу забруднення атмосфери для Міста проводимо за усередненими показниками:





Таблиця 6.1

Усереднені вихідні дані для розрахунку КІЗА

| Забруднююча речовина | ГДК, мг/м <sup>3</sup> | Концентрація, мг/м <sup>3</sup> |
|----------------------|------------------------|---------------------------------|
| Оксид вуглецю        | 5,0                    | 1                               |
| Діоксид азоту        | 0,085                  | 0.1                             |
| Оксид азоту          | 0,4                    | 0.16                            |
| Формальдегід         | 0,035                  | 0.04                            |

$$КІЗА_{\text{оксид вуглецю}} = (1/5)^{0,9} = 0,23;$$

$$КІЗА_{\text{діоксид азоту}} = (0,1 / 0,085)^{1,3} = 1,46;$$

$$КІЗА_{\text{оксид азоту}} = (0,16/0,4)^1 = 0,4;$$

$$КІЗА_{\text{формальдегід}} = (0,04/0,035)^{1,3} = 1,46;$$

$$КІЗА_{\text{заг}} = 3,55.$$

Стан атмосферного повітря Міста за показником КІЗА, який знаходиться в межах КІЗА менше 5 то, відповідно, рівень забруднення оцінюється як відносно нормальний.

Можемо зробити висновок, що стан атмосферного повітря Міста є відносно нормальним. Основне підприємство міста, АЕС не чинить негативного впливу на стан атмосферного повітря. Котельні у місті відсутні. Тепло та енергія надходять у місто з атомної електростанції. Тобто, на території Міста відсутні стаціонарні джерела забруднення атмосферного повітря. Основним забруднювачем є автомобільний транспорт.



## РОЗДІЛ 7

### НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

#### 7.1. Правові основи охорони атмосферного повітря

На якість атмосферного повітря головним чином впливають викиди шкідливих речовин підприємств промисловості й житлово-комунального господарства. За даними Державної служби статистики України у 2018 році від стаціонарних джерел в атмосферне повітря надійшло 2508,3 тис. т забруднюючих речовин. Основними забруднювачами атмосферного повітря є підприємства переробної – 34%, добувної – 19% промисловості та підприємства постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря – 39% від загального обсягу викидів забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення (без урахування діоксину вуглецю). Викиди забруднюючих речовин пересувними джерелами становлять 36,8% від загальної кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Викиди забруднюючих речовин автомобільним транспортом становлять 88,7% від забруднюючих речовин, що викидаються пересувними джерелами [24].

За таких умов серед інших видів охорони атмосферного повітря принципового значення набувають саме засоби правової охорони. Створення дієвої та ефективної нормативно-правової бази є одним із найважливіших способів реалізації державної політики у сфері охорони та раціонального використання атмосферного повітря.

Вирішуючи проблему охорони атмосферного повітря, Україна, як і інші держави світу, на законодавчому рівні передбачає заходи, спрямовані на обмеження і нейтралізацію шкідливих техногенних впливів на атмосферу. Законодавство про охорону атмосферного повітря є складовою частиною екологічного законодавства і спрямоване на збереження сприятливого стану атмосферного повітря, його відновлення і



поліпшення для забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини, а також відвернення шкідливого впливу на навколишнє природне середовище.

На сьогодні створено досить широку законодавчу і наукову базу для розвитку правової охорони атмосферного повітря. Вона здійснюється у тому числі з урахуванням тих принципів і основ, що були закладені й закріплені ще законодавством колишнього СРСР, а також вироблених наукою відповідних пропозицій і рекомендацій [79; 80].

Правова охорона атмосферного повітря в Україні будується на досить розгалуженій системі нормативних актів різної юридичної сили.

Основними нормативними актами, що здійснюють правове регулювання в Україні у сфері якості повітря є:

– Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-ХІІ, що спрямований на збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життєдіяльності, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на здоров'я людей та навколишнє природне середовище [58; 81];

– Порядок розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 303 [82];

– Порядок функціонування національної системи оцінки антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, які не регулюються Монреальським протоколом про речовини, що руйнують озоновий шар, затверджений постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження від 21 квітня 2006 р. № 554;

– Інструкція з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України, затверджена спільним наказом Наказ Міністерства палива та енергетики України, Держспоживстандарту України від 04.06.2007 р. № 271/121;



– Інструкція про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України, затверджена спільним наказом Міністерства палива та енергетики України, Міністерства транспорту та зв'язку України, Міністерства економіки України, Держспоживстандарту України від 20.05.2008 р. № 281/171/578/155.

При цьому правовою основою використання та охорони атмосферного повітря вважається Конституція України. Тут у ст. 13 проголошується право власності Українського народу на атмосферне повітря, а також право на користування ним [86]. Однак у такому формулюванні ця норма Основного закону містить чимало застережень. Адже завдяки своєму газоподібному стану та постійній циркуляції атмосферне повітря не може бути суто національним надбанням і перебуває у спільному користуванні всіх держав та народів світу. Його практично неможливо індивідуалізувати, а, отже, й реалізувати один з елементів права власності – право володіння. Як природний об'єкт його також не можна закріпити за певним користувачем. Неможливо також реалізувати право розпорядження атмосферним повітрям, крім як вилучивши окремі його компоненти з природного середовища з метою використання. Тому приналежність атмосферного повітря будь-якому суб'єкту на праві власності – всього лиш декларація, яку неможливо реалізувати чи забезпечити його захист.

Норми Конституції є основоположними, загальними щодо тих норм, які містяться у спеціальних екологічних законах, у першу чергу в Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища». Проте слід наголосити, що, по-перше, норми Конституції є нормами прямої дії, а, по-друге, саме на основі норм Конституції України і у чіткій відповідності до них приймаються всі інші законодавчі акти, в тому числі й ті, що регулюють питання правової охорони атмосферного повітря.

Провідна роль у регулюванні відносин у сфері використання та охорони довкілля належить законам України. Вони займають центральне місце і в механізмі правового регулювання охорони атмосферного повітря. До комплексних



екологічних законів, тобто законів, що містять норми про охорону навколишнього середовища, зокрема охорону атмосферного повітря, належить Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 р. Він є визначальним для усієї галузі екологічного права, оскільки містить чимало положень принципового характеру, встановлюючи тим самим основні напрями державної політики у сфері взаємодії суспільства і природи. Базовими для екологічного права є норми цього закону, де фактично визначається предмет правового регулювання, принципи охорони довкілля, екологічні права й обов'язки громадян, а також гарантії здійснення цих прав та забезпечення виконання обов'язків.

Законодавство про охорону атмосферного повітря є складовою частиною екологічного законодавства і спрямоване на збереження сприятливого стану атмосферного повітря, його відновлення і поліпшення для забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини, а також відвернення шкідливого впливу на навколишнє природне середовище. Правові, організаційні та екологічні вимоги в галузі охорони і використання атмосферного повітря були визначені Законом України «Про охорону атмосферного повітря» від 16 жовтня 1992 р., розробленим відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища». Зараз діє нова редакція цього Закону від 21 червня 2001 р. Особливість цього нормативного акта полягає у тому, що він є безпосередньою основою для організації охорони атмосферного повітря. Крім того, цей закон став певним орієнтиром для подальшої правотворчої діяльності в окресленій сфері, чітко визначивши її перспективні напрямки.

До правових заходів охорони і використання атмосферного повітря належать: регламентація нормування викидів забруднюючих речовин та шкідливих фізичних впливів на атмосферне повітря, встановлення вимог щодо здійснення заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря в процесі господарської діяльності; визначення організаційного і економічного механізму регулювання діяльності з охорони повітря.



Варто підкреслити, що прийняття Закону України «Про охорону атмосферного повітря» стало суттєвим кроком на шляху до створення якісної нормативно-правової бази у даній сфері. Проте врегулювати всі питання правової охорони атмосферного повітря він не зміг. Зокрема, в законі не приділено належної уваги суб'єктам правової охорони атмосферного повітря, взагалі не визначено функції, завдання та їхні повноваження.

Норми про охорону атмосферного повітря містяться в інших спеціалізованих законодавчих актах. Зокрема, в «Основах законодавства України про охорону здоров'я» в частині: встановлення вимог щодо охорони навколишнього природного середовища як важливої передумови життя і здоров'я людини (ст. 6), встановлення в Україні єдиних санітарно-гігієнічних вимог до планування і забудови населених пунктів, очистки і знешкодження промислових і комунально-побутових викидів (ст. 27), тощо; в Законі України «Про основи містобудування» в частині забезпечення екологічної безпеки при проектуванні та розміщенні містобудівних об'єктів (ст. 19); в Законі України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» в частині встановлення гігієнічних вимог до атмосферного повітря в населених пунктах, повітря у виробничих та інших приміщеннях (ст. 19); в Законі України «Про транспорт» у частині охорони навколишнього природного середовища, включаючи атмосферне повітря, в процесі експлуатації транспорту, розміщення споруд транспорту (ст. 16); в Законі України «Про автомобільний транспорт» у частині використання земель автомобільним транспортом та стандартизації і сертифікації на автомобільному транспорті, спрямованих на охорону довкілля; в Законі України «Про пестициди і агрохімікати» в частині встановлення вимог щодо безпеки здоров'я людини та довкілля при здійсненні діяльності, пов'язаної з пестицидами і агрохімікатами (ст. ст. 3–8); в Законі України «Про екологічну експертизу», яка проводиться з метою запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської



діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах [41; 60; 88; 89; 90; 91; 92; 93].

Належний рівень правового забезпечення у сфері охорони й використання довкілля досягається завдяки оптимальному поєднанню норм вищої юридичної сили та норм, що містяться в актах підзаконного характеру. Їхня система є доволі розгалуженою, оскільки чимало державних інституцій чи то виконавчої влади чи місцевого самоврядування наділені повноваженнями ухвалювати такі акти. Зокрема, нормативний характер у сфері врегулювання відносин взаємодії суспільства й природи мають Укази Президента України, акти Кабінету Міністрів України, профільних міністерств та інших центральних органів виконавчої влади, а також нормативні акти місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування.

У системі джерел екологічного права достатньо широко представлені акти Президента України. Ухвалені на виконання повноважень, що передбачені для глави держави Конституцією України Укази Президента, є обов'язковими до виконання і спрямовані зазвичай на виконання та їхнього ефективного застосування усіма уповноваженими органами та громадянами. Характерними у цьому плані можна вважати Указ Президента України «Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади» від 9.12.2010 року, Указ Президента України «Про положення про Міністерство екології та природних ресурсів» та Міністерство енергетики та захисту довкілля.

Значну кількість нормативно-правових актів у сфері охорони атмосферного повітря складають постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України. Одним із основних правових засобів охорони атмосферного повітря є державна система моніторингу якості довкілля – система спостережень, збирання, оброблення, передавання, зберігання та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Відповідно до «Положення про державну систему моніторингу довкілля», що



затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 р. № 39 та відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» № 343 від 09.03.1999 р. до об'єктів моніторингу атмосферного повітря належить атмосферне повітря, у тому числі атмосферні опади та викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря [94]. Кабінетом Міністрів України затверджений перелік найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню. Зокрема, Постанова від 29 листопада 2001 р. № 1598 «Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню» [95]. Серед найбільш поширених забруднюючих речовин є оксиди азоту, діоксид та інші сполуки сірки, оксид вуглецю, озон, тощо. До небезпечних забруднюючих речовин Кабінет Міністрів України відніс метали та їхні сполуки, органічні аміни, леткі органічні сполуки, стійкі органічні сполуки, хлор, бром та їхні сполуки, фтор та його сполуки тощо. Наказом МОЗ № 30 від 23.02.2000 р. затверджено списки та введено в дію гігієнічні регламенти шкідливих речовин у повітрі робочої зони і атмосферному повітрі населених місць.

Постановою Кабінету Міністрів України № 1655 від 13.12.2001 р. затверджено Порядок ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря (надалі – Порядок). Порядок визначає єдину систему ведення в галузі охорони атмосферного повітря державного обліку об'єктів (підприємств, установ, організацій та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності), які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей і на стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря, видів і ступенів впливу на його стан фізичних та біологічних факторів (надалі – об'єкти, які справляють шкідливий вплив).

Постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 299 «Про Порядок розроблення та затвердження





нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря» встановлює механізм розроблення та затвердження науково обґрунтованих нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря з метою уникнення, зменшення чи запобігання негативним наслідкам забруднення атмосферного повітря [96]. Для оцінки стану забруднення атмосферного повітря у місцях постійного чи тимчасового перебування людей встановлюються нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря, до яких належать: нормативи якості атмосферного повітря; граничнодопустимі рівні акустичного, електромагнітного, іонізуючого, інших видів впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря населених пунктів. Нормативи розробляються з урахуванням вимог міжнародних стандартів, норм, рекомендацій із врахуванням ступеню впливу фізичних та біологічних факторів на населення, їхні граничнодопустимі рівні, концентрації забруднюючих речовин, встановлених МОЗ; кліматичних умов; можливість транскордонного перенесення забруднюючих речовин, тощо.

Щодо шкідливих впливів фізичних і біологічних факторів на атмосферне повітря, то тут нормування здійснюється відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 300 «Про Порядок розроблення і затвердження нормативів граничнодопустимого рівня впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел забруднення на стан атмосферного повітря» [97].

Важливим заходом охорони атмосферного повітря є регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу стаціонарними джерелами забруднення. Законодавством встановлюється порядок виникнення права на викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря, права і обов'язки юридичних і фізичних осіб, що володіють стаціонарними джерелами викидів, та відповідальність за наслідки порушень вимог експлуатації цих джерел, тощо.

Право на викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря виникає після отримання відповідними юридичними і фізичними особами дозволу на викид у порядку, визначеному «Положенням про порядок розроблення та затвердження



нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел», затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2001 р. № 1780 [98].

У разі порушення умов і вимог щодо охорони і використання атмосферного повітря, передбачених дозволами, діяльність підприємств, установ і організацій, пов'язана з викидами забруднюючих речовин, може бути обмежена, тимчасово заборонена (зупинена) або припинена відповідно до статті 12 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» та Порядку обмеження, тимчасової заборони (зупинення) чи припинення діяльності підприємств, установ, організацій і об'єктів у разі порушення ними законодавства про охорону навколишнього природного середовища, затвердженого Постановою Верховної Ради України від 29 жовтня 1992 р.

Серед постанов Кабінету Міністрів України можна також виділити такі: «Про затвердження Порядку погодження і видачі дозволів на провадження діяльності, пов'язаної із штучними змінами стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях» № 301 від 13 березня 2002 р.; «Про затвердження Порядку проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку підприємств, установ, організацій та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності, які отримали такі дозволи» № 302 від 13 березня 2002 р.; «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря» № 303 від 13 березня 2002 р., тощо [82; 99; 100].

Отже, незважаючи на досить значну кількість урядових актів у сфері охорони атмосферного повітря, й досі відсутні документи, що мають передбачити конкретні заходи щодо збереження, поліпшення і відновлення стану атмосферного повітря, регламентувати механізм його правової охорони і головного напрямку останньої – контролю.

Велика кількість нормативно-правових актів у сфері охорони атмосферного повітря приймається спеціально



уповноваженими на те центральними органами державної виконавчої влади (міністерствами, державними комітетами та іншими відомствами), які мають позавідомчий характер, а також органами державної влади та місцевого самоврядування Автономної Республіки Крим й інших адміністративно-територіальних одиниць. До таких актів у першу чергу слід відносити накази Міністерства охорони навколишнього природного середовища: № 177 від 10 травня 2002 р. «Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на державний облік об'єктів, які справляють або можуть справляти шкідливий вплив на здоров'я і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря»; № 66 від 14 лютого 2002 р. «Про організацію робіт по розробленню та затвердженню нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел»; № 317 від 16 серпня 2004 р. «Про затвердження Переліку типів устаткування, для яких розробляються нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел»; № 286 від 30 липня 2001 р. «Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі»; № 298 від 9 серпня 2001 р. «Про затвердження інструкції про проведення інвентаризації викидів важких металів в атмосферне повітря»; № 38 від 18 травня 1995 р. «Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря» та інших. Важливе місце в охороні атмосферного повітря займають норми технічного характеру. У багатьох випадках екологічне законодавство містить посилання на технічні нормативи, санітарні норми, стандарти якості навколишнього середовища, граничнодопустимі концентрації забруднюючих речовин у природних об'єктах, тощо. Особливу групу правових актів складають Державні стандарти України (ДСТУ), Державні санітарні норми (ДСН), галузеві стандарти, державні будівельні норми і правила, тощо. Державні стандарти є обов'язковими до виконання, і на їхній основі розробляються



відповідні нормативи в галузі охорони атмосферного повітря. Законодавство України у сфері стандартизації базується на однойменному Законі України «Про стандартизацію» та інших нормативно-правових актах, в першу чергу таких, як: ДСН 201-97 – Державні санітарні норми по охороні атмосферного повітря населених пунктів (від забруднення хімічними та біологічними речовинами); ДСТУ 3273-95 – Безпека промислових підприємств. Загальні положення та вимоги; ГОСТ 17.0.0.04-90 – Охорона природи. Екологічний паспорт промислового підприємства. Основні положення; ДСТУ 2156-93 – Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення; ДСТУ 14004-97 – Системи управління навколишнім середовищем. Загальні настанови щодо принципів управління, систем та засобів забезпечення тощо.

З прийняттям Закону України «Про охорону атмосферного повітря» можна констатувати, що законодавство у цій сфері значно упорядковано. Норми і правила охорони атмосферного повітря закріплені в різних законодавчих актах, а також численних нормативних актах відомчого характеру. В той же час, прийняті в різні часи, ці іноді суперечливі та застарілі норми і правила регулюють лише окремі сторони діяльності з охорони атмосферного повітря, не забезпечуючи комплексного вирішення проблеми. В національне законодавство не імплементуються норми міжнародних актів, стороною яких є Україна. Наприклад, не прийнято нормативно-правові акти, спрямовані на забезпечення зменшення викидів важких металів в атмосферне повітря; зменшення обсягів викидів важких металів підприємствами та іншими об'єктами; розробка нормативів, стандартів, вимог щодо важких металів та продуктів, що їх містять, у викидах в атмосферне повітря з урахуванням вимог директив Європейського Союзу та Протоколу до Конвенції 1979 року про транскордонне забруднення повітря на великі відстані щодо важких металів.

Вбачається необхідним здійснення ратифікації таких міжнародних документів: Протоколу про стійкі органічні забруднювачі до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великій відстані та Стокгольмської конвенції про



стійкі органічні забруднювачі, та на виконання положень цих міжнародних актів з метою здійснення їхньої імплементації у національне законодавство України, розробити нормативно-правовий акт, метою якого є врегулювання на законодавчому рівні питання щодо поводження із забруднюючими речовинами, що заборонені, або викиди яких мають бути скорочені відповідно до умов Стокгольмської конвенції та Протоколу про стійкі органічні забруднювачі до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великій відстані.

Отже, ситуація, що склалася сьогодні щодо правового регулювання питань охорони атмосферного повітря, навряд чи може бути визнана оптимальною з таких причин:

- сформувався великий масив розрізнених підзаконних актів, присвячених різним питанням, і внаслідок цього об'єктивно виникають труднощі щодо отримання інформації про такі акти та ознайомлення з ними;

- наявною є залежність застосування законів від актів більш низького рівня, внаслідок чого можуть бути штучно відсунуті терміни реалізації законодавчих вимог;

- зберігається дотепер відомчий підхід до формування нормативних актів. Основним недоліком відомчої нормотворчості є її безконтрольність, відсутність гласності при підготовці нормативних актів [101].

Зважаючи на вищевикладене, виникає питання про можливі шляхи оптимізації нормотворчості у сфері охорони атмосферного повітря. З метою уніфікації законодавства можна запропонувати прийняття доповнень до Закону

України «Про охорону атмосферного повітря», які б більш детально відобразили питання щодо чіткого визначення переліку, статусу та компетенції суб'єктів охорони атмосферного повітря; виключного переліку нормативів у галузі охорони атмосферного повітря; напрямків охорони; основ дозвільної діяльності та процедурних правил у зазначеній сфері; механізму застосування заходів охорони до порушників чинного законодавства; відшкодування шкоди у результаті порушеного права, тощо.



## **7.2. Механізми та інструменти державного регулювання охорони атмосферного повітря**

Державне управління в галузі охорони атмосферного повітря здійснюють Кабінет Міністрів України, Міністерство енергетики та захисту довкілля України, Міністерство охорони здоров'я України. Основними правовими механізмами державного регулювання охорони атмосферного повітря є нормування та стандартизація в галузі охорони атмосферного повітря, регулювання розміщення об'єктів та джерел забруднення атмосферного повітря, проведення державної екологічної та інших експертиз об'єктів, що мають значний вплив на довкілля та здоров'я людей, дозвільний порядок санкціонування державою діяльності, що може супроводжуватися викидами в навколишнє середовище, встановлення санітарно-захисних зон довкола підприємств, що є джерелом понаднормативного впливу на довкілля та людей. Також можна ще виділити такі інструменти, як облік та моніторинг якості атмосферного повітря та здійснення контролю за повітрям і державою, і самими забруднювачами. Дані механізми та інструменти державного регулювання дозволяють зберігати атмосферне повітря від надмірного впливу забруднюючих речовин та іншого втручання, а також здійснювати державне управління використання такого природного ресурсу як повітря, що є об'єктом права власності народу України [101].

Держава також передбачає можливість застосування організаційно-економічних заходів охорони атмосферного повітря, до яких відносять екологічний податок, відшкодування збитків, заподіяних внаслідок порушення законодавства про охорону атмосферного повітря, надання суб'єктам господарювання податкових, кредитних та інших пільг у разі впровадження ними маловідходних, енерго- та ресурсозберігаючих технологій, здійснення інших природоохоронних заходів, що мають на меті зменшення викидів в атмосферне повітря та зменшення рівнів впливу фізичних та біологічних факторів на повітря; участь держави у фінансуванні екологічних заходів і будівництві об'єктів



екологічного призначення. (ст. 22 Закону «Про охорону атмосферного повітря»).

*Екологічним податком*, у відповідності до Податкового кодексу України, замінено збори за забруднення навколишнього середовища [102].

Екологічний податок – загальнодержавний обов’язковий платіж, що справляється із фактичних обсягів викидів у атмосферне повітря, скидів у водні об’єкти забруднюючих речовин, розміщення відходів, фактичного обсягу радіоактивних відходів, що тимчасово зберігаються їхніми виробниками, фактичного обсягу утворених радіоактивних відходів та з фактичного обсягу радіоактивних відходів, накопичених до 1.04.2009 р. (п. 14.1.57 Податкового кодексу).

За викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами екологічний податок повинні сплачувати водночас і господарюючі, і не господарюючі (бюджетні, громадські) суб’єкти, крім фізичних осіб, що не займаються підприємницькою діяльністю (ст. 240, ч. 1 Податкового кодексу). Громадяни ж повинні сплачувати лише за викиди в повітря із пересувних джерел у разі використання ними палива (ст. 240 ч. 1 Податкового кодексу). Об’єктом оподаткування є обсяг та види забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря, і для цього кодексом передбачено диференційовані ставки податку за викиди 1 тонни окремих речовин та їхніх сполук (25 речовин, таких як аміак, ацетон, озон, важкі метали, феноли та формальдегіди тощо), а також для забруднюючих речовин (та сполук), які не увійшли до списку окремих речовин та відносяться до I-IV класів небезпечності (ст. 243 Податкового кодексу). Для інших речовин, які не увійшли до списку та на які не встановлено клас небезпечності, встановлено ставки податку залежно від орієнтовно небезпечних рівнів (ОБРВ) впливу таких речовин в повітрі населених пунктів (ст. 243 ч. 3 Податкового кодексу). Для решти забруднюючих речовин (сполук), які не мають класу небезпечності та ОБРВ, ставки податку встановлюються такі, як за викиди речовин I класу небезпечності (ст. 243 ч. 5 Податкового кодексу). Нововведенням Податкового кодексу є



також оподаткування викидів такого парникового газу, як оксид вуглецю (ст. 243 ч. 4 Податкового кодексу) [102].

*Відшкодування збитків*, заподіяних внаслідок порушення законодавства про охорону атмосферного повітря є обов'язком всіх суб'єктів, які експлуатують стаціонарні та пересувні джерела викидів. Шкода, заподіяна внаслідок порушення законодавства про охорону атмосферного повітря, підлягає компенсації, як правило, в повному обсязі без застосування норм зниження розміру стягнення та незалежно від екологічного податку (ст. 69 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища»). Розмір заподіяної шкоди визначається відповідно до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, затверджені наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 10.12.2008 № 639. Методика встановлює порядок визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами суб'єктів господарювання (юридичних і фізичних осіб; п. 1.2. Методики). Методику застосовують державні інспектори з охорони навколишнього природного середовища при розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, що виявлені за результатами державного контролю за додержанням суб'єктами господарювання вимог природоохоронного законодавства (п. 1.4. Методики) [103].

Наднормативними викидами забруднюючих речовин вважаються викиди забруднюючих речовин, які перевищують затверджені граничнодопустимі викиди, установлені дозволом на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами; викиди забруднюючих речовин, на які відсутній дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, включаючи окремі забруднюючі речовини, викиди яких підлягають регулюванню відповідно до законодавства, викиди, що





здійснюються з перевищенням технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із устаткування, затверджених відповідно до законодавства; залпові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, які кількісно та якісно передбачені технологічними регламентами виробництва і перевищують трикратне значення граничнодопустимого викиду відповідно до законодавства; залпові викиди забруднюючих речовин, які не передбачені технологічними регламентами виробництва; аварійні викиди (п. 2.1. Методики).

Факт наднормативного викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря встановлюється державними інспекторами при перевірці суб'єктів господарювання інструментально-лабораторним методом контролю та розрахунковими методами (п. 2.1. Методики). За результатами перевірки складається акт перевірки, де розраховується розмір шкоди за наднормативний викид. У разі добровільної несплати шкоди, заподіяної виробничою діяльністю суб'єктів господарювання за понаднормативні понаднормові викиди; державні інспектори мають право звертатися до суду із вимогою про стягнення шкоди, заподіяної державі внаслідок порушення законодавства про охорону та використання атмосферного повітря. Також такі позови мають право пред'являти й органи прокуратури (ст. 37 Закону «Про охорону навколишнього природного середовища») та громадські природоохоронні об'єднання (ст. 21 Закону «Про охорону навколишнього природного середовища»).

Відповідальність за порушення законодавства у галузі охорони атмосферного повітря у вигляді відшкодування заподіяної шкоди має цивільний характер, тому важливим є встановлення факту вини забруднювача, протиправності діяння (наднормативного викиду) та причинного зв'язку між діяннями та шкодою, завданою атмосферному повітрю.

*Надання податкових, кредитних та інших пільг державою у разі впровадження ними маловідходних, енерго- та ресурсозберігаючих технологій, здійснення інших природоохоронних заходів, що мають на меті зменшення викидів в атмосферне повітря та зменшення рівнів впливу фізичних та біологічних факторів на повітря становить економічний стимул*



для охорони атмосферного повітря. Так, наприклад у 2008 році були запроваджені певні податкові пільги для стимулювання заходів із енергозбереження, зокрема звільнення від оплати податку на прибуток, податку на додану вартість та ввізного мита товарів та об'єктів, які працюють на нетрадиційних та поновлюваних джерелах енергії, енергозберігаючого обладнання і матеріалів. Проте отримані суми коштів в результаті пільг повинні бути спрямовані платником на збільшення обсягів виробництва. Звільняється також від оподаткування прибуток підприємств, що включені до Державного реєстру підприємств, установ, організацій, які займаються розробкою, впровадженням та використанням енергозберігаючих заходів та енергоефективних проєктів.

Держава також передбачила механізм пріоритетного кредитування заходів щодо забезпечення раціонального використання та економії паливно-енергетичних ресурсів та кредитування на пільгових умовах об'єктів, які сприяють енергозбереженню. Розмір зниження відсоткової ставки залежить від енергетичної ефективності впровадження енергозберігаючих заходів. Компенсація збитків кредитних установ від зменшення позикового відсотка проводиться за рахунок коштів фонду енергозбереження.

*Участь держави у фінансуванні екологічних заходів і будівництві об'єктів екологічного призначення здійснюється за рахунок Державного бюджету України, республіканського бюджету Автономної Республіки Крим та місцевих бюджетів, коштів підприємств, установ та організацій, фондів охорони навколишнього природного середовища, добровільних внесків та інших коштів. Для фінансування заходів щодо охорони навколишнього природного середовища утворюються Державний, республіканський Автономної Республіки Крим та місцеві фонди охорони навколишнього природного середовища (ст. 47 Закону «Про охорону навколишнього природного середовища»). Окрім державного регулювання охорони атмосферного повітря, що зазвичай носить загальнообов'язковий характер, забруднювачі також можуть на свій вибір вживати добровільно додаткових заходів щодо*



зменшення навантаження на повітря, відновлення його якості та збереження його фізичних властивостей.

### **7.3. Правове регулювання якості атмосферного повітря в ЄС**

На міжнародному рівні охорона й використання атмосферного повітря забезпечується Конвенцією про транскордонне забруднення повітря на великі відстані (Женева, 13 листопада 1979 р.), Конвенцією про охорону озонового шару (Відень, 1985 р.), Монреальським протоколом про речовини, що руйнують озоновий шар (Монреаль, 1987 р.), Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату, Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та деякими іншими актами [104].

В Європейському Союзі прийнято Директиву про промислове забруднення (Директива 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 24 листопада 2010 року «Про промислове забруднення (інтегроване запобігання та контроль забруднення)»), яка зобов'язує держави ЄС контролювати та зменшувати вплив промислового забруднення на довкілля.

Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди прийнята 24 листопада 2010 року і базується на пропозиції Європейської Комісії про перегляд, оновлення та об'єднання семи раніше діючих директив, включаючи директиву про інтегроване запобігання та контроль забруднення (ІППС), щодо великих спалювальних установок (ЛСР), щодо спалювання відходів (WI), щодо викидів від розчинників та 3-х директив щодо регулювання діоксиду титану.

Директива застосовує технологічний підхід до запобігання та контролю промислового забруднення на основі секторального регулювання — найкращих доступних технологій та методів управління (ВАТ) для кожного сектору промисловості, що спричиняє значне забруднення і негативно впливає на довкілля та здоров'я людини. Слід підкреслити, що регулювання на основі ВАТ включають як технологію, що



застосовується, так і спосіб проектування, побудови, обслуговування та експлуатації установки.

Україною, як членкинею Енергетичного Співтовариства та учасницею Угоди про асоціацію між Україною та Європейським союзом з 1 лютого 2011 року, прийнято зобов'язання дотримуватися положень Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та додатків до нього.

8 листопада 2017 р. затверджено Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок. Метою НПСВну є поступове скорочення викидів діоксиду сірки, оксидів азоту та речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом, від існуючих великих спалювальних установок, номінальна теплова потужність яких становить 50 МВт і більше, а перший дозвіл на викиди або дозвіл на проектування установки видано до 01 липня 1992 року. Строк дії Національного плану скорочення викидів – з 1 січня 2018 року по 31 грудня 2033 року.

Розпорядженням КМУ від 13 червня 2018 р. № 428-р, був затверджений План заходів на 2018 рік щодо впровадження Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок, в якому були визначені 7 заходів, строки виконання та відповідальні ЦОВВи.

Загальною метою політики Європейського Союзу у сфері якості повітря є зменшення шкоди для здоров'я людини і оточуючого середовища від викидів летючих органічних сполук під час транспортування, продажу та використання бензину та дизельного палива.

На реалізацію цієї мети спрямовані такі акти ЄС у сфері якості повітря:

Директива 94/63/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 20 грудня 1994 року стосовно контролю викидів летючих органічних сполук (ЛОС), що виникають зі сховищ бензину та при його транспортуванні з терміналів до сервісних станцій застосовується до експлуатаційної діяльності, устаткування, автотранспортних засобів та суден, які використовуються для зберігання, навантаження та транспортування бензину від



одного терміналу до іншого або від терміналу до сервісної станції.

Директива 98/70/ЄС Європейського парламенту і Ради від 13 жовтня 1998 року щодо якості бензину та дизельного палива та внесення змін до Директиви Ради 93/12/ЄЕС встановлює екологічні вимоги для палива, що продається для використання в двигунах примусового запалювання, та екологічні вимоги для палива, що продається та використовується в двигунах компресійного запалювання.

Директива Ради ЄС 1999/32/ЄС від 26 квітня 1999 року щодо зменшення вмісту сірки у певних видах рідкого палива та яка змінює Директиву 93/12/ЄЕС, метою якої є зменшення викидів діоксиду сірки, які утворюються при спалюванні окремих типів рідких видів палива і тим самим зменшити шкідливий вплив таких викидів на людину та довкілля. Зменшення викидів діоксиду сірки, які виникають при спалюванні окремих рідких видів палива, які виробляються з нафти, мають бути досягнуті шляхом накладення меж на вміст сірки у таких видах палива, як умови їх використання на території держав-членів, у територіальних морях та у виключних економічних зонах чи зонах контролю забруднення.

Директива Європейського Парламенту та Ради ЄС 2008/50/ЄС від 21 травня 2008 року про якість повітря та чистоту повітря в Європі, яка встановлює заходи щодо визначення і встановлення цілей для захисту якості атмосферного повітря з метою уникнення, попередження чи зменшення шкідливих впливів на здоров'я людини та довкілля в цілому; оцінку якості атмосферного повітря в державах-членах на основі загальних методів та критеріїв; отримання інформації про якість атмосферного повітря з метою допомоги боротьбі із забрудненням повітря та його негативними наслідками, а також контролю довгострокових тенденцій та удосконалень, що виникають в результаті заходів, які вживаються на національному рівні та на рівні Співтовариства та ін.

Відповідно до Угоди про Асоціацію між Україною та ЄС, окремі положення Директиви мають бути впроваджені в Україні впродовж п'яти років з моменту набуття Угодою про Асоціацію



чинності.

На сьогоднішній день відбувається процес імплементації Директиви про промислове забруднення та розроблення національного законодавства у сфері запобігання та контролю промислового забруднення.

Імплементація зазначеної Директиви ЄС вимагає впровадження великими промисловими підприємствами найкращих доступних технологій та методів керування (НДТМ).

Урядом України встановлено наступні завдання з імплементації зазначеної Директиви ЄС: законодавчі (зокрема розроблення та схвалення Висновків НДТМ та Норм загальної дії), технічні (визначення типів обладнання, що потребують інтегрованого дозволу, створення реєстру забруднюючих речовин тощо), організаційні та інформаційні, зокрема забезпечення доступу громадськості до інформації про викиди в атмосферне повітря, а також запровадження механізму інтегрованого запобігання та контролю промислового забруднення.

Вже з 1 січня 2021 року вводиться в дію Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів». Це означає, що визначені Урядом великі і середні промислові підприємства з цього дня зобов'язані виконувати вимоги Закону – готувати плани з моніторингу викидів парникових газів та щорічно звітувати про викиди.

Цей Закон визначає правові та організаційні засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів та спрямований на виконання зобов'язань України за міжнародними договорами, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою України, зокрема, Угодою про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, а також на виконання вимог Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату та Паризької угоди.

Закон визначає сферу його дії, склад законодавства у сфері моніторингу, звітності та верифікації; органи державного управління та їх повноваження; порядок організації та



здійснення моніторингу, звітності та верифікації; адміністративні послуги у цій сфері; права та обов'язки оператора й верифікатора; запроваджується спеціальна адміністративна відповідальність за порушення вимог законодавства у відповідній сфері тощо.

Це перший крок до запуску системи торгівлі викидами парникових газів – економічного інструменту стимулювання їх скорочення.

23 вересня 2020 року Кабінетом Міністрів України було прийнято низку нормативно-правових актів, що мають забезпечити прозорий та коректний облік викидів парникових газів промисловими підприємствами в Україні, а постановою Кабінету Міністрів України від 25.07.2020 № 614 затверджено положення про Міндовкілля, відповідно до якого Міндовкілля виконуватиме функції уповноваженого органу у сфері моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів.

Отже, забруднення повітря є одним з найбільших екологічних ризиків для здоров'я в Європі і другою за величиною екологічною проблемою європейців та світу вцілому після зміни клімату.

Насьогодні у багатьох містах Європи та світу в певній мірі проблема забруднення атмосферного повітря подолана. Наприклад у Європі влада великих європейських міст запроваджує ефективні заходи щодо зменшення забруднення повітря та його наслідків.

В першу чергу це чітке та обов'язкове дотримання законодавство ЄС, що пов'язане з якістю повітря: директива про промислове забруднення (IED) 2010/75/ЄС; директива 2001/81/ЄС про щодо державних граничних норм для певних забруднювачів (NEC); контроль вмісту сірки (морського) палива; стандарти EURO для транспортних засобів; стандарти викидів від пересувних дорожніх машин; директива про якість повітря 2008/50/ЄС; директива 2004/107/ЄС та ін.

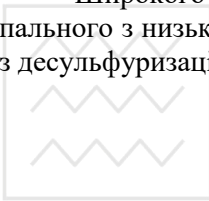
Також зменшенню забруднення сприяють: IPR «Електронна звітність»; SEIS «Спільна екологічна інформаційна система»; INSPIRE «відкриті дані».



Послуги для громадськості та органів влади: надання підтримки національним та місцевим органам влади у створенні та імплементації законодавства ЄС у сфері якості повітря; моніторинг якості повітря; національна еталонна лабораторія; інформування населення (портал, звітування); оцінювання на національному рівні та доповідь; прогнозування та попередження; дослідження у сфері якості повітря; лабораторії якості повітря; консультаційні послуги експертів у сфері якості повітря; міжнародна співпраця та проекти.

Транспорт є основним джерелом викидів  $\text{NO}_2$  та  $\text{CO}$ , найвищі концентрації забруднюючих речовин – в центрах міст. Тому регулювання транспортних викидів, стандарти викидів від пересувних джерел, оновлення автофургонів, обмеження руху призводять до бажаного результату.

Широкого розповсюдження набуває застосування пального з низькою концентрацією сірки, обладнання установок з десульфуризації; модернізація промислових процесів.







## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енциклопедія сучасної України. Атмосфера. URL: [http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=44601](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=44601) (дата звернення: 21.05.2020)
2. Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М. : Сов. энцикл. 1970–1978.
3. Школьный С. П. Фізика атмосфери : підручник. Одеса. 2005. 507 с.
4. Бондаренко В. Н., Лунина Л. А., Хачатурова Л. М. Структура нижнего слоя атмосферы и расчёт профилей метеорологических величин. *Метеорология и гидрология*. 1987. № 10. С. 39–46.
5. Турбулентность в свободной атмосфере. / Н. К. Винниченко, Н. З. Пинус, С. М. Шметер, Г. Н. Шур. 2-е изд. Л. : Гидрометеиздат, 1976. 288 с.
6. Шакина Н. П. Динамика атмосферных фронтов и циклонов. Л. : Гидрометеиздат. 1985. 263 с.
7. Шметер С. М. Термодинамика и физика конвективных облаков. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 287 с.
8. Щербань М. И. Микроклиматология. К. : Вища школа. 1985. 240 с.
9. Ариель Н. З., Надёжина Е. Д. Безразмерные характеристики турбулентности при разных условиях стратификации. Изв. АН СССР. *Физика атмосферы и океана*. 1976. № 8, т. XII. С. 347–354.
10. Атмосфера : справочник. Л. : Гидрометеиздат. 1991. С. 464–494.
11. Географічна енциклопедія України: в 3 т. / відп. ред. О. М. Маринич. К., 1989. № 12. 1991.
12. Вагер Б. Г., Надёжина Е. Д. Пограничный слой атмосферы в условиях горизонтальной неоднородности. Л. : Гидрометеиздат, 1979.
11. Будыко М. И., Ронов А. Б., Яншин А. Л. История атмосферы. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 207 с.
12. Ивлев Л. С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л., 1987. 366 с.



13. Мазин И. П., Шметер С. М. Облака : строение и физика образования. Л. : Гидрометеоиздат, 1983. 279 с.
14. Шметер С. М. Термодинамика и физика конвективных облаков. Л. : Гидрометеоиздат, 1987. 287 с.
15. Лайхтман Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Л. : Гидрометеоиздат, 1970.
16. Основні забруднювачі навколишнього середовища. Книга 5. *Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі*. URL: <https://www.dei.gov.ua/posts/428> (дата звернення: 26.07.2020).
17. Беккер А. А., Агаев Т. Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. Л. : Гидрометеоиздат, 1989. 286 с.
18. Охрана окружающей среды / А. М. Владимиров, Ю. И. Ляхин, Л. Т. Матвеев, В. Г. Орлов. Л. : Гидрометеоиздат, 1991. С. 23–148.
19. Вернадский В. И. Биосфера. М. : Мысль, 1967. 376 с.
20. Антропогенные изменения климата / под ред. М. И. Будыко и Ю. А. Израэля. Л. : Гидрометеоиздат, 1987. 403 с.
20. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л. : Гидрометеоиздат, 1985. 271 с.
21. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л. : Гидрометеоиздат, 1975. 436 с.
22. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. URL: <https://menr.gov.ua/news/31768.html> (дата звернення: 10.05.2020).
23. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2017 році. URL: <https://menr.gov.ua/news/31768.html> (дата звернення: 10.05.2020).
24. Довкілля України за 2018 рік. *Статистичний збірник / Державна служба статистики України*. Київ, 2019. 214 с.
25. Клименко В. Г., Цигічко О. Ю. Забруднення атмосферного повітря : методична розробка для студентів-географів. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна. 2010. 26 с.
26. Ставров И. И., Боева М. А. Экологические последствия автомобилизации. *Автотранспорт*. 1982. № 2.



27. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / под ред. Ф. Т. Ньистада и Х. Ван Допа ; пер. с англ. Л. : Гидрометеоиздат, 1985.

28. Горошко Б. Б., Пьянцев Б. И., Сонькин Л. Р. Оперативный прогноз загрязнения атмосферы и регулирования выбросов при неблагоприятных метеоусловиях. *Вопросы контроля загрязнения природной среды*. М. : Гидрометеоиздат, 1981. С. 81–88.

29. Горошко Б. Б., Сонькин Л. Р. Вопросы регулирования выбросов в атмосферу в периоды неблагоприятных метеоусловий. *Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы*. М. : Гидрометеоиздат. 1981. Т. 1. С. 144–148.

30. Дзюняк Д. Ю. Інформаційна технологія оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.06. Вінниця, 2017. 115 с.

31. Матушевська Н. Р. Охорона атмосферного повітря: навч. посіб. Рівне : НУВГП. 2008. 236 с.

32. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере : справочное пособие / под ред. Э. Ю. Безуглой, М. Е. Берлянда. Л. : Гидрометеоиздат, 1983.

33. Константинова З. И. Защита воздушного бассейна от промышленных выбросов. М. : Стройиздат, 1981. 102 с.

34. Контроль и анализ загрязнения атмосферы больших городов / Берлянд М. Е. и др. М., 1981. 22 с.

35. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л. : Гидрометеоиздат, 1980. 184 с.

36. Изменения климата / под. ред. Дж. Гриббина. Л. : Гидрометеоиздат, 1980.

36. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища : монографія / О. Г. Васенко, О. В. Рибалова, С. Р. Артем'єв, Н. С. Горбань, Г. В. Коробкова, В. О. Полозенцева, О. В. Козловська, А. О. Мацак, А. А. Савічев. М. : НУГЗУ, 2015. 419 с.



37. Экология города : учебник / под ред. Стольберга Ф. В. Киев : «Либра», 2000. 464 с.
38. Ландсберг Г. Е. Климат города. Л. : Гидрометеоздат, 1983. 246 с.
39. Борисенко М. М. Распределение ветра в нижнем 200-метровом слое атмосферы над городом. *Труды ГГО*. 1977. Вып. 368.
40. Забруднене повітря щогодини забирає життя 800 осіб — ООН. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-culture/2653273-zabrudnene-povitra-sogodini-zabirae-zitta-800-osib-oon.html> (дата звернення: 11.06.2020).
41. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України від 19.11.1992. *Відомості Верховної Ради України*. 1993. № 4 від 26.01.1993.
42. Методичні вказівки обґрунтування орієнтовних безпечних рівнів впливу (ОБРВ) хімічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Наказ МОЗ України від 07.10.2004 № 485.
43. Тарасова В. В. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення. Житомирський національний агроекологічний університет URL: [http://www.agrosvit.info/pdf/16\\_2013/6.pdf](http://www.agrosvit.info/pdf/16_2013/6.pdf) (дата звернення: 02.08.2020).
44. Ковалевська І. М. Статистичне оцінювання впливу екологічних факторів на соціально-економічне становище в Україні : автореф. дис. ... канд. економ. Наук : спец. 08.00.10. Київ, 2013. 20 с.
45. Тарасова В. В., Ковалевська І. М. Фактори впливу на стан здоров'я населення. *Вісник ЖНАЕУ*, 2012. № 2. Т. 1. С. 287–292.
46. Обзор данных о воздействии загрязнения воздуха на здоровье – проект REVIHAAP. Европейский центр ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья (Бонн), Европейское региональное бюро ВОЗ. URL: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report> (дата звернення: 02.05.2020).



47. Тарасова В. В., Ковалевська І. М. Статистичний аналіз взаємовідносин довкілля і суспільства. *НАСОА* : зб. наук. праць. К. : НАСОА, 2012. С. 67–74.
48. Парфенцева Н. О., Ковалевська І. М., Тарасова В. В. Екологічна статистика : курс лекцій. Житомир : ЖНАЕУ, 2012. 142 с.
49. Парфенцева Н. О., Ковалевська І. М., Тарасова В. В. Екологічна статистика. Теоретичні основи та лабораторний практикум на базі комп'ютерних технологій програми МО Excel : підручник. К. : Центр навчальної літератури, 2013. 295 с.
50. Тарасова В. В. Метод питомої участі при комплексній оцінці сукупних ресурсів. *АгроІнКом*. 2007. № 3–4. С. 56–59.
51. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населённых пунктов. М. : Госстандарт, 1987.
52. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ. ОНД-86. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 256 с.
53. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л. : Гидрометеиздат, 1979. 442 с.
54. Руководство по контролю качества атмосферного воздуха в городах. Копенгаген, 1980.
55. ГОСТ 17.2.3.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения. М. : Госстандарт, 1984.
56. ГОСТ 17.2.3.01-77. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. М. : Госстандарт, 1979. 14 с.
57. ГОСТ 12.1.0.07-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М. : Госстандарт, 1976.
58. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16 жовтня 1992 р. в редакції Закону від 21 червня 2001 року № 2556-III. *Відомості Верховної Ради України*. 2001. № 48. Ст. 252.



59. ГОСТ 17229-78. Самолёты пассажирские и транспортные. Допустимые уровни шума, создаваемого на местности. М. : Госстандарт, 1978.

60. ДСП 201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Із змінами і доповненнями, внесеними наказом Міністерства охорони здоров'я України від 23 лютого 2000 року № 30.

61. РД 52.04.52-85. Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах. Методичні вказівки. Державний комітет СРСР по гідрометеорології та контролю природного середовища. 01.12.1986.

62. Гутер Р. С., Овчинский Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта». Москва : Наука, 1970. 432 с.

63. Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі : наказ № 286 від 0.07.2001. {Із змінами, внесеними згідно з Наказами Міністерства екології та природних ресурсів. № 485 від 08.12.2016, № 108 від 04.04.2018}. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#n15> (дата звернення: 18.04.2020).

64. Аверьянов А. Г. К вопросу об оценке воздушной среды и производственных помещениях при наличии в воздухе нескольких вредных компонентов. *Гиг. и сан.* 1957. № 8. С. 64–67.

65. Санитарная охрана атмосферного воздуха городов / Р. С. Гиндельскиольд, М. К. Недогибченко, М. А. Пинигин и др. М. : Медицина, 1976. 168 с.

66. Пенчева П. К. Критерии комплексной оценки загрязнения атмосферы. *Гиг. и сан.* 1982. № 9. С. 74–76.

67. Рекомендации по составлению сводного тома «Охрана атмосферы и предельно допустимые выбросы (ПДВ) города (населенного пункта) и его макет» / Зап.Сиб.НИИ, ГГО и др. Новосибирск : изд. Зап.Сиб.РВЦ, 1980. 45 с.



68. Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно допустимых выбросов в атмосферу (ПДВ) для предприятий / Зап.Сиб.НИИ и др. Новосибирск : изд. Зап.Сиб.РВЦ, 1987. 42 с.
69. Безуглая Э. Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л. : Гидрометеиздат, 1986. 200 с.
70. Временная методика. Расчет комплексного индекса загрязнения (ИЗА) на основе данных наблюдений / ГГО им. А. И. Воейкова. Л., 1988. 22 с.
71. Методика оценки социально-экономического эффекта использования информации о загрязнении природной среды в народном хозяйстве / ГГО им. Воейкова. Л., 1991. 69 с.
72. Шапочка Н. К. Экономическая эффективность использования в народном хозяйстве информации о загрязнении атмосферы : дис. ... канд. экон. наук. Сумы, 1991. 168 с.
73. О применении индекса загрязнения атмосферы / Л. П. Яичкин и др. *Гиг. и сан.* 1991. № 11. С. 93–95.
74. Временные инструктивно-методические указания по оценке состояния загрязнения атмосферного воздуха / НИИ-ОКГ им. Л. И. Сысина. М., 1977. 28 с.
75. Сидоренко Г. И., Пинигин М. А. Обоснование принципов управления максимально допустимых нагрузок воздействия на человека. *Гиг. и сан.* 1981. № 2. С. 57–62.
76. Пинигин М. А. Об ошибках сравнительной оценки комплексных показателей загрязнения атмосферного воздуха. *Гиг. и сан.* 1985. № 8. С. 69–71.
77. Жаворонков Ю. М., Буштуева К. А. К построению комплексного показателя загрязненности атмосферного воздуха. *Гиг. и сан.* 1983. № 6. С. 7–9.
78. Пинигин М. А., Скворода Н. Н. Мониторинг состояния окружающей природной среды. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С. 216–222.
79. Костицкий В. В. Екологія перехідного періоду: право, держава, економіка (економіко-правовий механізм охорони навколишнього природного середовища). К. : Інститут законодавчих передбачень і правової експертизи, 2003. С. 254.



80. Базове дослідження стану та напрямів розвитку екологічної політики України та перспектив посилення участі організацій громадянського суспільства у розробці та впровадженні політик, дружніх до довкілля / С. А. Матус, Г. М. Левіна, Т. С. Карпюк, О. Ю. Денищик. Аналітичний звіт. (період: 2018-січень 2019). 2020.

81. Правова охорона атмосферного повітря: практичні аспекти. / за заг. ред. Жиравецького Т. М., Кравченко О. В.; пер. Хомечко Г. І. *Львів : ЕПЛ*. 2011. 120 с.

82. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря : Постанова Кабінету Міністрів України № 303 від 13 березня 2002 р. *Офіційний Вісник України*. 05.04.2002, № 12. Ст. 575.

83. Право довкілля (екологічне право) : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / за ред. П. Д. Пилипенка. К. : Ін Юре, 2010. С. 301.

84. Щорічна доповідь про стан здоров'я населення, санітарно-епідемічну ситуацію та результати діяльності системи охорони здоров'я України. 2017 рік. / МОЗ України, ДУ «УІСД МОЗ України». Київ : МВЦ «Медінформ», 2018. 458 с.

85. Про затвердження Порядку обмеження, тимчасової заборони (зупинення) чи припинення діяльності підприємств, установ, організацій і об'єктів у разі порушення ними законодавства про охорону навколишнього природного середовища : Постанова Верховної Ради України від 20 жовтня 1992. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 46. Ст. 637.

86. Конституція України. *Відомості Верховної Ради України*. № 254к/96-ВР. 28.06.1996. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 19.07.2020).

87. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25 червня 1991 р. *Відомості Верховної Ради України*. 1991. № 41. Ст. 546.

88. Про основи містобудування : Закон України від 16.11.1992. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 52 від 29.12.1992.





89. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення : Закон України від 24 лютого 1994 р. *Голос України*. 1994. 8 квітня.

90. Про транспорт : Закон України від 10.11.1994. *Відомості Верховної Ради України*. 1994. № 51 від 18.12.1994.

91. Про автомобільний транспорт : Закон України від 5.05 2001. *Відомості Верховної Ради України*. 2001. № 22 від 01.06.2001.

92. Про пестициди і агрохімікати : Закон України від 2.03.95. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 14 від 04.04.95. Ст. 91.

93. Про екологічну експертизу : Закон України від 09.02.1995. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 8 від 21.02.95. Ст. 54.

94. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова Кабінету Міністрів України. від 30.03.1998 р. № 391. *Офіційний Вісник України*. 16.04.1998, № 13. С. 91.

95. Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню : Постанова Кабінету Міністрів України від 29 листопада 2001 р. № 1598. *Офіційний Вісник України*. 21.12.2001 р. № 49. С. 29. Ст. 2187.

96. Про Порядок розроблення та затвердження нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря : Постанова Кабінету Міністрів України від 13.03.2002 р. № 29. *Офіційний Вісник України*. 2002 № 12 від 05.04.2002 р. Ст. 571.

97. Про Порядок розроблення і затвердження нормативів граничнодопустимого рівня впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел забруднення на стан атмосферного повітря : Постанова Кабінету Міністрів України від 13.04.2002 р. № 300. *Офіційний Вісник України*. 05.04.2002. № 12. Ст. 572.

98. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел : Постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.2001 р. №1780. *Офіційний Вісник України*.



18.01.2002 р. № 1. Ст. 12.

99. Про затвердження Порядку погодження і видачі дозволів на провадження діяльності, пов'язаної із штучними змінами стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях : Постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 30. *Офіційний Вісник України*. 05.04.2002. № 12. Ст. 573.

100. Про затвердження Порядку проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку підприємств, установ, організацій та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності, які отримали такі дозволи : Постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 302. *Офіційний Вісник України*. 05.04.2002 р. № 12. Ст. 574.

101. Науково-практичний коментар до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» / Г. Балюк, І. Гриценко, Т. Ковальчук та ін. / за ред. Г. І. Балюк. К. : Юрінком, 2011. С. 5.

102. Податковий кодекс України від 01.12.2010 р. / *Офіційний вісник України*, 10.12.2010 р. № 92. Том 1. С. 9. Ст. 3248.

103. Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря : проект наказу Мінприроди. 2019.05.2. 13 с. URL: <https://www.dei.gov.ua/posts/428> (дата звернення: 20.08.2020).

104. Про ратифікацію Кіотського протоколу до Рамкової Конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату : Закон України від 4 лютого 2004 р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws> (дата звернення: 20.08.2020).

105. Перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua/content/perelik-programnih-produktiv-v-galuzi-ohoroni-atmosfernogo-povitrya.html> (дата звернення: 19.07.2020).



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



## ДОДАТКИ

Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



## МЕТОДИКА

розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

### I. Загальні положення

1. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (далі - Методика) розроблена відповідно до Законів України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про охорону атмосферного повітря».

2. Методика встановлює порядок визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами (організованими та неорганізованими) юридичними особами незалежно від форми власності — та господарювання, фізичними особами-підприємцями, а також юридичними особами-нерезидентами.

3. Методика не застосовується при виявленні порушень законодавства про охорону навколишнього природного середовища, вчинених юридичними особами незалежно від форми власності та господарювання, фізичними особами, фізичними особами-підприємцями, а також юридичними особами-нерезидентами внаслідок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря із пересувних джерел, а також діяльність яких пов'язана з впливом фізичних та біологічних факторів на його стан.

4. Методика застосовується державними інспекторами України з охорони навколишнього природного середовища та державними інспекторами з охорони навколишнього природного середовища відповідних територій (далі - державні інспектори) при розрахунку розмірів відшкодування збитків,



заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону атмосферного повітря, які

виявлені за результатами заходів державного нагляду (контролю) за додержанням вимог юридичними особами незалежно від форми власності та господарювання, фізичними особами, фізичними особами-підприємцями, а також юридичними особами-нерезидентами природоохоронного законодавства.

5. У Методиці терміни вживаються в такому значенні:

аварійний викид – викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря, який стався внаслідок промислової чи транспортної аварії;

викид – надходження в атмосферне повітря забруднюючих речовин або суміші таких речовин;

газовий (газопиловий) потік – газ, що містить забруднюючу речовину або забруднюючі речовини в будь-якому агрегатному стані й організовано відводиться від джерела утворення забруднюючих речовин та (або) стаціонарного джерела забруднення атмосфери;

газохід – складова технологічної або вентиляційної системи для транспортування газового потоку, виготовлена з різного матеріалу і різної форми поперечного перерізу (труба, повітропровід; димовий або вентиляційний канал; димова труба; вентиляційна шахта);

джерело викиду забруднюючих речовин – об'єкт (підприємство, цех, агрегат, установка тощо), з якого надходять в атмосферне повітря забруднююча речовина або суміші таких речовин;

джерело утворення забруднюючих речовин – об'єкт, у якому відбувається утворення забруднюючих речовин;

забруднююча речовина – речовина хімічного або біологічного походження, що присутня або надходить в атмосферне повітря і може прямо або опосередковано справляти негативний вплив на здоров'я та стан навколишнього природного середовища;

залповий викид – викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря, який кількісно та якісно передбачений



технологічним регламентом виробництва і перевищує в декілька разів величини викидів, що встановлені при нормальному веденні технологічного процесу. Тривалість залпового викиду визначається згідно з картою виробничого процесу. Дозволений обсяг залпових викидів не повинен перевищувати трикратне значення гранично допустимого викиду відповідно до законодавства;

організований викид – викид, який надходить в атмосферне повітря через спеціально споруджені газоходи, труби, аераційні ліхтарі та інші споруди;

неорганізований викид – викид, який надходить в атмосферне повітря у вигляді ненаправлених потоків пилогазоповітряної суміші від джерел забруднення, не оснащених спорудами для відведення газів, газоходами, трубами та іншими спорудами;

стаціонарне джерело забруднення атмосфери – підприємство, цех, агрегат, установка або інший нерухомий об'єкт, труба, газохід, що зберігає свої просторові координати протягом певного часу і здійснює викиди забруднюючої речовини або суміші таких речовин в атмосферне повітря;

норматив гранично допустимого викиду забруднюючої речовини стаціонарного джерела – гранично допустимий викид забруднюючої речовини або суміші цих речовин в атмосферне повітря від стаціонарного джерела викиду. Гранично допустима концентрація викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря досягається без розбавлення повітря і ґрунтується на величинах об'єму газів, які приведені до таких нормальних умов:

якщо газу, – температура 273 К, тиску 101,3 кПа (без поправок на вміст кисню чи вологи);

якщо газоподібні продукти горіння, – температура 273 К, тиск 101,3 кПа, сухий газ; 3% кисню для рідкого і газоподібного палива, 6% кисню для твердого палива; 15% кисню для газових турбін і дизельних двигунів;

технологічний норматив допустимого викиду забруднюючої речовини – гранично допустимий викид



забруднюючої речовини або суміші цих речовин, який визначається у місці його виходу з устаткування, мг/куб. м;

затверджений гранично допустимий викид – дозволений обсяг викиду забруднюючої речовини, який встановлений у дозволі на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами:

для джерел утворення – встановлений технологічний норматив допустимого викиду забруднюючих речовин для окремих типів обладнання у місці їх виходу з устаткування (або газоочисного обладнання, яке встановлене безпосередньо за джерелом утворення викидів) у мг/куб. м;

для стаціонарних джерел викидів, які віднесені до основних, у мг/куб. м, для джерел викидів, віднесених до інших, у мг/куб. м;

для джерел викидів, на які не встановлені нормативи гранично допустимих викидів, відповідно до законодавства, у г/с;

концентрація забруднюючої речовини – кількість забруднюючої речовини, що міститься в одиниці об'єму або масі газу, що надходить в атмосферне повітря, мг/куб. м;

масова концентрація забруднюючої речовини,  $\rho_{vi}$  – відношення маси забруднюючої речовини (компонент В) до об'єму аспірованого при відборі проби газу ( $i$ -тої об'єднаної проби), мг/куб. м;

об'єднана проба – представницька проба, яка характеризує концентрацію забруднюючої речовини за двадцятихвилинний проміжок часу по всьому вимірювальному перерізу газоходу;

масова витрата забруднюючої речовини (потужність викиду),  $q_m$  – кількість забруднюючої речовини, що надходить в атмосферне повітря за одиницю часу, визначається як добуток масової концентрації цієї речовини та об'ємної витрати газопилового потоку, г/с;

об'ємна витрата газопилового потоку – об'єм газопилового потоку, який проходить через задану площу за одиницю часу. Визначається як добуток значення середньої швидкості газопилового потоку та площі вимірювального перерізу газоходу (труби),  $q_v$  – за реальних умов,  $q_{v0}$  – за нормальних



умов,  $qvo_k$  – за нормальних умов та у перерахунку на регламентований вміст кисню,  $qv_{cm}$  – за стандартних умов (за нормальних умов та у перерахунку на сухий газ і регламентований вміст кисню), куб. м/с.

## **II. Визначення наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря**

1. Наднормативними викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря вважаються:

1) викиди забруднюючих речовин, які перевищують затверджені гранично допустимі викиди, установлені дозволом на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами;

2) викиди забруднюючих речовин, на які відсутній дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами (організованими та неорганізованими), викиди яких підлягають регулюванню відповідно до законодавства;

3) викиди, що здійснюються з перевищенням технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із устаткування, установлених дозволом на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами;

4) викиди, які здійснюються у разі невиконання в установлені в дозволі на викиди забруднюючих речовин терміни запланованих заходів щодо скорочення викидів забруднюючих речовин;

5) залпові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, які кількісно та якісно передбачені технологічними регламентами виробництв і перевищують трикратне значення гранично допустимого викиду відповідно до законодавства.

6) залпові викиди забруднюючих речовин, які не передбачені технологічними регламентами виробництв;

7) аварійні викиди.





2. Факт наднормативного викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря встановлюється державними інспекторами за результатами інструментально-лабораторних методів контролю, документальної перевірки юридичних осіб незалежно від форми власності та господарювання, фізичних осіб, фізичних осіб-підприємців, а також юридичних осіб-нерезидентів та розрахунковими методами.

3. При визначенні наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря інструментально-лабораторними методами контролю використовуються результати вимірювань, отримані:

територіальними та міжрегіональними територіальними органами Держекоінспекції, уповноваженими на проведення відповідних вимірювань;

юридичними особами незалежно від форми власності та господарювання, фізичними особами-підприємцями, а також юридичними особами-нерезидентами при здійсненні виробничого контролю за дотриманням встановлених нормативів викидів забруднюючих речовин. Такі результати вимірювань мають бути зафіксовані у робочих журналах лабораторій або у звітах про інструментально-лабораторні вимірювання.

4. Результати вимірювань масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини повинні характеризувати її вміст за двадцятихвилинний проміжок часу по всьому вимірному перерізу газоходу.

Результати вимірювань масової концентрації та об'ємної витрати газопилового потоку (зведені до нормальних або стандартних умов, у перерахунку на сухий газ, приведені до регламентованого вмісту кисню) обчислюються з урахуванням похибок вимірювання, регламентованих відповідними методиками вимірювань та іншими нормативними документами.

Розряд останньої цифри результату вимірювань та останньої значущої цифри похибки вимірювань повинні відповідати один одному.



При порівнянні результатів вимірювань масової концентрації та масової витрати забруднюючих речовин з установленими нормативами гранично допустимого викиду значення похибок вимірювання не враховуються.

5. Результати вимірювань масової концентрації та масової витрати забруднюючої речовини, які характеризують уміст цієї забруднюючої речовини за двадцятихвилинний проміжок часу по всьому вимірювальному перерізу газоходу (труби), вважаються такими, що не перевищують значення відповідного нормативу гранично допустимого викиду, якщо значення кожного результату вимірювання не перевищує значення встановленого нормативу гранично допустимого викиду.

6. Результати вимірювань, отримані при здійсненні безперервного автоматизованого контролю, які характеризують уміст забруднюючої речовини по всьому вимірному перерізу газоходу, вважаються такими, що не перевищують значень відповідних нормативів, якщо одночасно виконуються такі умови:

значення осереднених результатів за добу не перевищують установленого нормативу гранично допустимого викиду;

97% усіх середніх значень, виміряних за двадцятихвилинний інтервал, не перевищують установленого значення нормативу гранично допустимого викиду;

3% середніх значень, виміряних за двадцятихвилинний інтервал, не перевищують 1,2 встановленого значення нормативу гранично допустимого викиду.

7. Розрахункові методи визначення наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря та об'ємної витрати газопилового потоку застосовуються у випадках:

1) викиду забруднюючих речовин від джерел викидів, які здійснюються без дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами юридичних осіб незалежно від форми власності та господарювання,



фізичних осіб, фізичних осіб-підприємців, а також юридичних осіб-нерезидентів;

2) викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря внаслідок невиконання в установлені в дозволі на викиди забруднюючих речовин терміни запланованих заходів щодо скорочення викидів забруднюючих речовин;

3) аварійного викиду;

4) викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря внаслідок несанкціонованого спалювання відходів різного походження, поживних залишків та іншої рослинності;

5) об'ємної витрати газопилового потоку (димових газів) від паливовикористовуючого обладнання за відсутності технічних можливостей для інструментально-лабораторного вимірювання (конструктивні особливості газоходів).

8. За результатами перевірки юридичної особи незалежно від форми власності та господарювання, фізичної особи, фізичної особи-підприємця, а також юридичної особи-нерезидента складається акт перевірки в установленому законодавством порядку.

### **III. Розрахунок маси наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря**

1. Розрахунок маси наднормативного викиду забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду забруднюючих речовин, віднесеного до основних джерел викидів, здійснюється за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (\overline{\rho_{Vi}} - \rho_{V\text{норм}}) q v_0 T, \quad (1)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду цієї забруднюючої речовини, т;

$\overline{\rho_{Vi}}$  – середнє значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини за результатами вимірювань вмісту цієї забруднюючої речовини у трьох послідовно відібраних об'єднаних пробах, мг/куб. м;



$\rho_{Внорм}$  – значення затвердженого нормативу викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, наведеного в дозволі на викид, мг/куб. м;

$qv_0$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до нормальних умов, куб. м/с;

або за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-3} \left( \bar{q} m_i - q_{норм}^m \right) \cdot T, \quad (2)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду цієї забруднюючої речовини, т;

$\bar{q} m_i$  – середнє значення масової витрати  $i$ -тої забруднюючої речовини за результатами вимірювань у трьох послідовно відібраних об'єднаних пробах, г/с;

$q_{норм}^m$  – значення затвердженого нормативу викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, наведеного в дозволі на викид, г/с;

$T$  – час роботи джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в режимі наднормативного викиду, год.

2. Розрахунок маси наднормативного викиду забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерел викидів забруднюючих речовин, віднесених до інших, і на які не встановлені нормативи гранично допустимих викидів відповідно до законодавства, здійснюється за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (\overline{\rho_{Bi}} - \rho_{Внорм}) \cdot qv_0 \cdot T, \quad (3)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викидів забруднюючих речовин, віднесених до інших, т;

$(\overline{\rho_{Bi}})$  – середнє значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини за результатами вимірювань у трьох послідовно відібраних об'єднаних пробах, мг/куб. м;



$\rho_{\text{норм}}$  – значення затвердженого нормативу викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, наведеного в дозволі на викид, мг/куб. м;

$qv_0$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до нормальних умов, куб. м/с;

або за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-3} (\bar{q} m_i - q_{\text{норм}}^m) \cdot T, \quad (4)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викидів забруднюючих речовин, віднесених до інших, т;

$\bar{q} m_i$  – значення масової витрати  $i$ -тої забруднюючої речовини, розраховане за результатами вимірювань масової концентрації цієї забруднюючої речовини у трьох послідовно відібраних об'єднаних проб, г/с;

$q_{\text{норм}}^m$  – значення затвердженого нормативу викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, наведеного в дозволі на викид, г/с;

$T$  – час роботи джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в режимі наднормативного викиду, год.

3. Розрахунок маси наднормативного викиду газоподібної забруднюючої речовини в атмосферне повітря від паливовикористовуючого обладнання (у продуктах горіння) здійснюється за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (\overline{\rho'_{D1}} - \rho'_{D\text{норм}}) qv_{\text{ост}} \cdot T, \quad (5)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від паливовикористовуючого обладнання, т;

$\overline{\rho'_{D1}}$  – середнє значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини, за результатами вимірювань вмісту цієї забруднюючої речовини та кисню у трьох послідовно відібраних об'єднаних пробах, приведене до регламентованого вмісту кисню, мг/куб. м;



$\rho'_{Днорм}$  – значення затвердженого нормативу викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до регламентованого вмісту кисню, наведеного в дозволі на викид, мг/куб. м;

$qv_{ост}$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до стандартних умов, куб. м/с;

$T$  – час роботи джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в режимі наднормативного викиду, год

1) Значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до регламентованого вмісту кисню, здійснюється за формулою

$$P'_{Bi} = P_{Bi} \cdot (21 - \Phi_{O2РЕГЛ}) / (21 - \Phi_{O2ВИМР.}), \quad (6)$$

де  $P'_{Bi}$  – значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до регламентованого вмісту кисню, мг/куб. м;

$P_{Bi}$  – значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до нормальних умов (результат вимірювання  $i$ -тої об'єднаної проби), мг/куб. м;

$\Phi_{O2РЕГЛ}$  – регламентований вміст кисню (3%, 6%, 15%) або інший відповідно до технологічного регламенту;

$\Phi_{O2ВИМР.}$  – об'ємна частка кисню за результатом вимірювання, %.

Значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до регламентованого вмісту кисню, здійснюється за формулою

$$QV_{ок} = QV_0 \cdot (21 - \Phi_{O2ВИМР.}) / (21 - \Phi_{O2РЕГЛ}), \quad (6.a)$$

де  $QV_0$  – об'ємна витрата газопилового потоку за нормальних умов, куб. м/с;

$\Phi_{O2ВИМР.}$  – об'ємна частка кисню за результатом вимірювання, %;

$\Phi_{O2РЕГЛ}$  – регламентований вміст кисню (3%, 6%, 15%) або інший відповідно до технологічного регламенту.



2) У разі конструктивних особливостей газоходів, що унеможливають інструментальне вимірювання необхідних параметрів для визначення об'ємної витрати газопилового потоку (димових газів) від паливовикористовуючого обладнання (котел), її значення розраховується на основі відомостей щодо обсягів витраченого палива, розраховується на основі відомостей щодо обсягів витраченого палива, коефіцієнту надлишку повітря, табличних величин теоретичних (питомих) об'ємів продуктів горіння (димових газів) та повітря, необхідного для спалювання 1 м<sup>3</sup> або 1 кг палива при коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha=1$ , наданих юридичними особами незалежно від форми власності та господарювання, фізичними особами, фізичними особами-підприємцями, а також юридичними особами-нерезидентами у вигляді довідки.

У цьому разі розрахунок значення об'ємної витрати газопилового потоку (димових газів) здійснюється за формулою

$$qv_{oc} = B [V_r^0 + V_B^0 (\alpha - 1)] / 3600, \quad (7)$$

де  $qv_{oc}$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку (димових газів) від джерела викиду або утворення  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до нормальних умов та сухий газ, куб.м/с;

$B$  – витрата палива, приведена до нормальних умов (температура 273 К, тиск 101,3 кПа), н. куб. м/год;

$V_r^0$  – теоретичний об'єм продуктів горіння (димових газів), куб. м/куб. м;

$V_B^0$  – теоретичний об'єм повітря, необхідного для спалювання 1 куб. м або 1 кг палива при  $\alpha = 1$ , куб. м/куб. м або куб. м/кг;

$\alpha$  (альфа) – коефіцієнт надлишку повітря (розраховане значення показника, за результатами вимірювань показників роботи котла та вимірювань масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини).

4. Розрахунок маси наднормативного викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря при перевищенні технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих



речовин із устаткування (крім газоподібних продуктів горіння) здійснюється за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (\overline{\rho'_{Bl}} - \rho'_{\text{Техн}}) \cdot qv_0 \cdot T, \quad (8)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела утворення цієї забруднюючої речовини, т;

$\overline{\rho'_{Bl}}$  – середнє значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини за результатами вимірювань вмісту цієї забруднюючої речовини у трьох послідовно відібраних об'єднаних пробах, мг/куб. м;

$\rho'_{\text{Техн}}$  – значення затвердженого технологічного нормативу допустимого викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, мг/куб. м;

$qv_0$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела утворення  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до нормальних умов, куб. м/с;

$T$  – час роботи джерела утворення  $i$ -тої забруднюючої речовини в режимі наднормативного викиду (перевищення технологічного нормативу допустимого викиду), год.

5. Розрахунок маси наднормативного викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря при перевищенні технологічного нормативу допустимого викиду газоподібних продуктів горіння здійснюється за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (\overline{\rho'_{Bl}} - \rho'_{\text{Техн}}) \cdot qv_{\text{ост}} \cdot T, \quad (9)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела утворення цієї забруднюючої речовини, т;

$\overline{\rho'_{Bl}}$  – середнє значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до регламентованого вмісту кисню, нормальних умов, у перерахунку на сухий газ, мг/куб. м;

$\rho'_{\text{Техн}}$  – значення затвердженого технологічного нормативу допустимого викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини,





приведене до регламентованого вмісту кисню, нормальних умов, у перерахунку на сухий газ, мг/куб. м;

$qv_{0\text{ст}}$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела утворення  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведені до стандартних умов, куб. м/с;

$T$  – час роботи джерела утворення  $i$ -тої забруднюючої речовини в режимі наднормативного викиду, год.

6. Розрахунок маси наднормативного викиду забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду, який здійснюється без дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, здійснюється за:

характеристиками джерела викиду (джерела утворення), зафіксованими у відповідній документації юридичної особи незалежно від форми власності та господарювання, фізичної особи, фізичної особи – підприємця, а також юридичної особи – нерезидента (звіт по інвентаризації викидів забруднюючих речовин, технологічні регламенти виробництва, режимні карти роботи паливовикористовуючого обладнання, питомі викиди (показники емісії));

даними державних статистичних спостережень з охорони атмосферного повітря за формою № 2-ТП (повітря);

результатами інструментально-лабораторних вимірювань; методиками для розрахунків маси викидів забруднюючих речовин за час роботи джерела без дозволу на викиди.

7. Розрахунок маси наднормативного викиду забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду (утворення), який здійснюється без дозволу на викиди, за результатами інструментально-лабораторних вимірювань здійснюється за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot \overline{\rho'_{Bl}} \cdot qv_0 \cdot T, \quad (10)$$

де  $m_i$  – маса викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря від джерела викиду (утворення) без дозволу на викиди, т;

$\overline{\rho'_{Bl}}$  – середнє значення масової концентрації  $i$ -тої забруднюючої речовини трьох об'єднаних проб за результатами



вимірювань її вмісту в газопиловому потоці від джерела викиду (утворення), приведене до нормальних умов, мг/куб. м;

$qv_0$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела викиду (утворення)  $i$ -тої забруднюючої речовини, приведене до нормальних умов, куб. м/с;

$T$  – час роботи джерела викиду (утворення)  $i$ -тої забруднюючої речовини без дозволу на викиди, год.

8. У разі невиконання в установлені в дозволі на викиди забруднюючих речовин терміни запланованих заходів щодо скорочення викидів забруднюючих речовин розрахунок маси наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря здійснюється за формулою

$$m_i = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (\rho_{B1} - \rho_{B2}) \cdot q_v \cdot T, \quad (11)$$

де  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в атмосферне повітря у разі невиконання в установлені терміни запланованих заходів, т;

$\rho_{B1}$  – значення затвердженого гранично допустимого викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, наведених в дозволі на викиди мг/куб. м;

$\rho_{B2}$  – значення гранично допустимого викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини наведених в дозволі на викиди, мг/куб.м;

$q_v$  – значення об'ємної витрати газопилового потоку від джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, наведених в дозволі на викиди, куб. м/с;

$T$  – час роботи джерела викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в режимі наднормативного викиду у разі невиконання в установлені терміни запланованих заходів, год.

9. Розрахунок маси наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в результаті аварійних викидів здійснюється на підставі матеріальних балансів, довідок юридичних осіб незалежно від форми власності та господарювання, фізичних осіб, фізичних осіб-підприємців, а також юридичних осіб-нерезидентів про втрати сировини чи матеріалів або розрахунковим методом згідно з



методиками для розрахунків маси викидів забруднюючих речовин.

10. Розрахунок маси наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря внаслідок несанкціонованого спалювання відходів різного походження, поживних залишків та іншої рослинності здійснюється розрахунковим методом згідно з методиками для розрахунків маси викидів забруднюючих речовин.

11. Час роботи джерела в режимі наднормативного викиду визначається з моменту вчинення порушення до моменту його усунення з урахуванням фактично відпрацьованого часу.

У разі відсутності інформації про фактичні години роботи час роботи джерела в режимі наднормативного викиду визначається за річним часом роботи джерела, зазначеним у звіті з інвентаризації викидів у пропорційному співвідношенні періоду джерела в наднормативному режимі, годин/рік.

12. Факт усунення порушення може бути підтверджений:

даними інструментально-лабораторних вимірювань, виконаних територіальними та міжрегіональними територіальними органами Держекоінспекції, уповноваженими. Держекоінспекцією на проведення відповідних вимірювань, або юридичними особами незалежно від форми власності та господарювання, фізичними особами-підприємцями, а також юридичними особами-нерезидентами у присутності державного інспектора;

отриманням дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами;

документами, що підтверджують виведення з експлуатації устаткування, від якого було зафіксовано наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря.



#### **IV. Розрахунок розмірів відшкодування збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря**

1. Розмір відшкодування збитків за наднормативний викид однієї тонни забруднюючої речовини в атмосферне повітря розраховується на основі розміру мінімальної заробітної плати, установлені на дату виявлення порушення, помноженої на коефіцієнт 1,1, з урахуванням регульовальних коефіцієнтів (додатки 1, 2) і показника відносної небезпечності кожної забруднюючої речовини.

Розмір збитків розраховується за формулою

$$З = m_i \cdot 1,1П \cdot A_i \cdot K_T \cdot K_{zi}, \quad (12)$$

де  $З$  – розмір збитків, грн;  $m_i$  – маса наднормативного викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини, т;  $1,1П$  – розмір мінімальної заробітної плати ( $П$ ) на дату виявлення порушення за одну тунну умовної забруднюючої речовини, помноженої на коефіцієнт (1,1), грн/т;  $A_i$  – безрозмірний показник відносної небезпечності  $i$ -тої забруднюючої речовини;  $K_T$  – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості;  $K_{zi}$  – коефіцієнт, що залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту  $i$ -тою забруднюючою речовиною.

Загальний розмір відшкодування збитків розраховується як сума розмірів збитків за наднормативний викид в атмосферне повітря кожної забруднюючої речовини.

2. Безрозмірний показник відносної небезпечності  $i$ -тої забруднюючої речовини ( $A_i$ ) визначається із співвідношення за формулою:

$$A_i = 1/\Gamma ДК_i, \quad (13)$$

де  $\Gamma ДК_i$  – середньодобова гранично допустима концентрація або орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ)  $i$ -тої забруднюючої речовини, мг/куб. м.



Для речовин з ГДК більше одиниці в чисельнику вводиться поправний коефіцієнт 10.

Для речовин, за якими відсутня величина середньодобової гранично допустимої концентрації, при визначенні показника відносної небезпечності береться величина максимальної разової ГДК забруднюючої речовини в атмосферному повітрі. Для речовин, за якими відсутні величини ГДК і ОБРВ, показник відносної небезпечності  $A_i$  приймається рівним 500.

3. Коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості ( $K_T$ ), залежить від чисельності мешканців населеного пункту, його народногосподарського значення і розраховується за формулою

$$K_T = K_{нас} \cdot K_\phi, \quad (14)$$

де  $K_{нас}$  – коефіцієнт, що залежить від чисельності жителів населеного пункту та визначається згідно з додатком 1;

$K_\phi$  – коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення населеного пункту та визначається згідно з додатком 2.

4. Коефіцієнт, що залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту  $i$ -тою забруднюючою речовиною ( $K_{zi}$ ), визначається за формулою

$$K_{zi} = \rho_{Vi} / ГДК_{СДi}, \quad (15)$$

де  $\rho_{Vi}$  – середньорічна концентрація  $i$ -тої забруднюючої речовини за даними прямих інструментальних вимірів на стаціонарних постах за попередній рік, мг/куб. м;

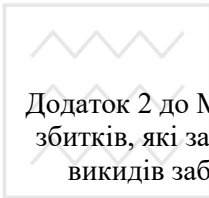
$ГДК_{СДi}$  – середньодобова гранично допустима концентрація  $i$ -тої забруднюючої речовини, мг/куб. м.

У разі, якщо в населеному пункті інструментальні вимірювання концентрації цієї забруднюючої речовини не виконуються, а також якщо рівні забруднення атмосферного повітря населеного пункту  $i$ -тою забруднюючою речовиною не перевищують ГДК, значення коефіцієнта  $K_{zi}$  приймається рівним 0,1.



Додаток 1 до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

| Чисельність населення, тис. осіб | $K_{нас}$ |
|----------------------------------|-----------|
| до 100                           | 1,00      |
| 100,1–250                        | 1,20      |
| 250,1–500                        | 1,35      |
| 500,1–1000                       | 1,55      |
| більше 1000                      | 1,80      |



Додаток 2 до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

| Тип населеного пункту  | $K_{\phi}$ |
|--|------------|
| Організаційно-господарські та культурно-побутові центри місцевого значення з перевагою аграрно-промислових функцій (районні центри, міста, селища районного підпорядкування) та села | 1,00       |
| Багатофункціональні центри, центри з перевагою промислових і транспортних функцій (республіканський та обласні центри, міста державного, республіканського, обласного значення)      | 1,25       |
| Населені пункти, віднесені до курортних *  | 1,65       |
| * Перелік населених пунктів, віднесених до курортних, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 28.12.96 № 1576 (із змінами).   |            |



Інформаційні технології, що використовуються для  
забезпечення розрахунку, аналізу, обробки та звітності щодо  
забруднення атмосферного повітря в Україні

| Найменування програмного продукту | Версія      | Призначення   | Чинність      |
|-----------------------------------|-------------|---|---------------|
| “EOL”                             | версія 3.5  | Програма розрахунку забруднення атмосфери   | не обмежено   |
| EOL + FON                         | версія 4.3  | Програма розрахунку забруднення на EOM + розрахунок фонових концентрацій                              | не обмежено   |
| “PLENER”                          | версія 1.25 | Програма розрахунку забруднення атмосфери на EOM  | не обмежено   |
| “EOL +”                           | версія 5    | Програма розрахунку забруднення атмосфери на EOM  | не обмежено   |
| “EOL –2000”                       | версія 3.1  | Програма розрахунку забруднення атмосфери на EOM  | не обмежено   |
| “EOL (ГАЗ)-2000”                  | версія 3.1  | Програма розрахунку забруднення атмосфери на EOM  | не обмежено   |
| “Еколог – Газ”                    |             | Програма розрахунку забруднення атмосфери на EOM  | до 01.04.2008 |
| “ТАНДЕМ”                          | версія 1    | Експертна система ПГО   | не обмежено   |
| “ЕКСПЕРТ”                         | версія 1    | Ведення банку даних ПГО   | не обмежено   |
| “ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ”                  |             | Система для обробки даних інвентаризації джерел викидів   | не обмежено   |
| “NEORIST”                         | версія 1    | Розрахунки валових викидів забруднюючих речовин від неорганізованих джерел забруднення атмосфери      | не обмежено   |
| “ІНВЕНТЕР”                        | версія 1.0  | Система для обробки даних інвентаризації джерел викидів на ПК   | не обмежено   |
| "Атмосфера"                       |             | Розрахунки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, формування таблиць звіту інвентаризації | до 01.01.06   |
| "Report 1.00"                     | версія 1    | Підготовка форми держстатзвітності № 2-ТП(повітря)-квартальна "Звіт про охорону атмосферного повітря" | не обмежено   |



продовження табл. Г.1

|                             |                    |   |             |
|-----------------------------|--------------------|---|-------------|
| ЕОЛ (ГАЗ) - 2000 [h]        | версія<br>4.0      | Розрахунки забруднення атмосфери на ЕОМ в приземних і верхніх шарах атмосфери                         | не обмежено |
| ЕОЛ -2000 [h]               | версія<br>4.0      | Розрахунки забруднення атмосфери на ЕОМ у приземних та верхніх шарах атмосфери                        | не обмежено |
| Електронні типові форми XML | версія<br>3.1.1.3. | Експорт (імпорт) електронних копій відповідних документів, з метою їх подальшої обробки та публікації | не обмежено |
| Інтернет додаток "ЕКОЗВІТ"  | версія<br>2        | Підготовка в електронній формі документів для отримання дозволу на викиди та статистичної звітності   | не обмежено |
| "NORMA6XML"                 | версія<br>1        | Підготовка в електронній формі документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів                      | не обмежено |







Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Навчальне видання

***Клименко Микола Олександрович***  
***Ковальчук Наталія Сергіївна***

## **АТМОСФЕРА ЗЕМЛІ: ОСНОВНІ АСПЕКТИ ТА ЧИННИКИ ВПЛИВУ**

*Навчальний посібник*

Відповідальний за випуск

Прищепя А.М., доктор сільськогосподарських наук,  
професор кафедри екології, технології захисту навколишнього  
середовища та лісового господарства НУВГП

*Друкується в авторській редакції*

*Технічний редактор*

*Г.Ф. Сімчук*

Підписано до друку 23.04.2021 р. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Ум.-друк. арк. 15,6. Обл.-вид. арк. 16,4.

Тираж 100 прим. Зам. № 5578.

*Видавець і виготовлювач*  
*Національний університет*  
*водного господарства та природокористування*  
*вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції РВ № 31 від 20.04.2005 р.*