

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

В. Є. Бекетов

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

УДК 621

Бекетов В. Е. Методологія прогнозування забруднення атмосферного повітря міст : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія / В. Є. Бекетов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 76 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. В. Е. Бекетов

Рецензент

Д. В. Дядін, кандидат технічних наук, професор кафедри інженерної екології міст (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 2 від 28 серпня 2023 р.

© В. Є. Бекетов, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ	6
1.1 АТМОСФЕРНА ТУРБУЛЕНТНІСТЬ	6
1.2 РОЗПОДІЛ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМШКИ В АТМОСФЕРІ ПІД ФАКЕЛОМ ТОЧКОВОГО ДЖЕРЕЛА	6
1.3 ВИСОТА ПОЧАТКОВОГО ПІДЙОМУ	7
2 КЛІМАТИЧНІ УМОВИ РОЗСІЮВАННЯ ДОМШОК В АТМОСФЕРІ.....	9
2.1 ВІТЕР	9
2.2 ТЕМПЕРАТУРА	10
2.2.1 Інверсія температури.....	10
2.2.2 Градієнт температури і стійкість атмосфери.....	11
2.2.3 Градієнт температури і форма струменя диму	13
2.3 ТУМАНИ. ОПАДИ. СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ.....	15
2.4 ПОТЕНЦІАЛ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ.....	15
3 ФИЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	17
3.1 ТЕОРІЯ АТМОСФЕРНОЇ ДИФУЗІЇ. РІВНЯННЯ ТУРБУЛЕНТНОЇ ДИФУЗІЇ.....	17
3.2 АНАЛІТИЧНЕ РІШЕННЯ РІВНЯННЯ ДИФУЗІЇ. ОСОБЛИВІСТЬ РОЗПОДІЛУ НАЗЕМНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВЗДОВЖ ОСІ ФАКЕЛА	18
4 РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ. МЕТОДИКА ОНД-86	20
4.1 РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ ОДИНОЧНОГО ДЖЕРЕЛА З КРУГЛИМ ГИРЛОМ	21
4.2 РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ ДЖЕРЕЛА З ПРЯМОКУТНИМ УСТЯМ.....	26
4.3 РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ ЛІНІЙНОГО ДЖЕРЕЛА	27
4.4. РОЗРАХУНОК ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ ГРУПИ ДЖЕРЕЛ І ПЛОЩИННИХ ДЖЕРЕЛ	29
4.5 РАДІУС ЗОНИ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛА	30
4.6 РІШЕННЯ ЗВОРОТНИХ ЗАВДАНЬ	31
4.7 ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ ПІД ЧАС РОЗРАХУНКУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ	32

5 РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ. ГАУСОВА МОДЕЛЬ РОЗСІЮВАННЯ.....	35
5.1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГАУСОВА АБО НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ	35
5.2 ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ РОЗСІЮВАННЯ ДОМІШОК В ГАУСОВОЇ ТЕОРІЇ.....	36
5.2.1 Прийняті допущення	37
5.2.2 Окремі випадки розрахунку приземних концентрацій	38
5.3 ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РІВНЯНЬ МОДЕЛІ ГАУСА	39
5.3.1 Визначення категорії (класу стійкості) атмосфери.....	40
5.3.2 Визначення максимуму приземної концентрації і його положення.....	43
5.3.3 Розсіювання в атмосфері аерозолів	44
6 ФОНОВІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ	49
6.1 ПЕРІОД ВИЗНАЧЕННЯ C_f . ОБРОБКА ДАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	50
6.2 ВИЗНАЧЕННЯ ФОНОВИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗА ДАНИМИ ПОСТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	51
6.2.1 Розрахунковий метод	51
6.2.2 Графічний метод.....	53
6.3 ФОРМАТ ЗАВДАННЯ ФОНУ ЗА ПОСТОМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ. ВИНЯТОК ВКЛАДУ ПІДПРИЄМСТВА З ФОНУ	54
6.4 ВИЗНАЧЕННЯ ФОНОВИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ РОЗРАХУНКОВИМ МЕТОДОМ.....	56
7 НОРМУВАННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ	58
7.1 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ НОРМАТИВІВ, ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ВИКИДІВ.....	60
7.1.1 Зміст інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферу на підприємстві.....	61
7.2 ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ	64
7.2.1 Звіт з оцінки впливу на довкілля	66
7.3 ДОЗВІЛ НА ВИКИДИ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ.....	67
7.3.1 Об'єкти, для яких розробляються документи з обґрунтування обсягів викидів	69
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТОК А.....	76

ВСТУП

Дисципліна «Методологія прогнозування забруднення атмосферного повітря міст» входить до програми підготовки магістрів за спеціальністю 101 – Екологія.

У конспекті розглянуто закономірності розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері, вплив кліматичних умов на процес розсіювання, викладено фізичні засади прогнозу забруднення атмосфери, дано основні положення методик розрахунку концентрацій домішок в атмосферному повітрі, наведено інформацію щодо фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі та нормування викидів забруднювальних речовин із джерел підприємств.

Дисципліна дає студенту знання, які допоможуть установити взаємозв'язок кліматичних умов регіону з розсіюванням домішок в атмосфері, виконати розрахунки розсіювання домішок від джерел різного типу, оцінити якість атмосферного повітря з урахуванням фонових концентрацій, виконати прогноз забруднення атмосферного повітря для конкретних антропогенних і кліматичних умов, визначити нормативні викиди забруднювальних речовин в атмосферу від джерел підприємства.

1 РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ

1.1 Атмосферна турбулентність

Розсіювання домішок в атмосфері пов'язане з атмосферою турбулентністю і відбувається здебільшого шляхом молекулярної і турбулентної дифузії. Водночас основну роль відіграє турбулентна дифузія, роль молекулярної дифузії незначна.

Турбулентна дифузія має дві складових – термічну і динамічну. Термічна дифузія (забезпечує конвективну турбулентність) пов'язана з вертикальним температурним градієнтом повітря.

Динамічна дифузія (забезпечує механічну турбулентність) відбувається при русі повітряних мас під впливом вітру, у нижніх шарах тропосфери посилюється під впливом макронерівностей рельєфу і не пов'язана з температурним градієнтом.

Атмосферна турбулентність є результатом двох процесів:

- **конвективна турбулентність** – природні конвективні потоки як результат нагрівання атмосфери (dp/dz);
- **механічна турбулентність** є результатом вітрового зрушення (du/dz).

1.2 Розподіл концентрації домішки в атмосфері під факелом точкового джерела

Розподіл концентрації забруднювальних речовин в атмосфері під факелом високого точкового джерела показано на рисунку 1.1 [1].

На процес розсіювання в атмосфері промислових викидів з димарів і вентиляційних облаштувань істотно впливають такі чинники:

- стан атмосфери;
- фізичні і хімічні властивості речовин, що викидаються (щільність, температура, дисперсний склад пилу);
- параметри джерела викиду;
- рельєф місцевості.

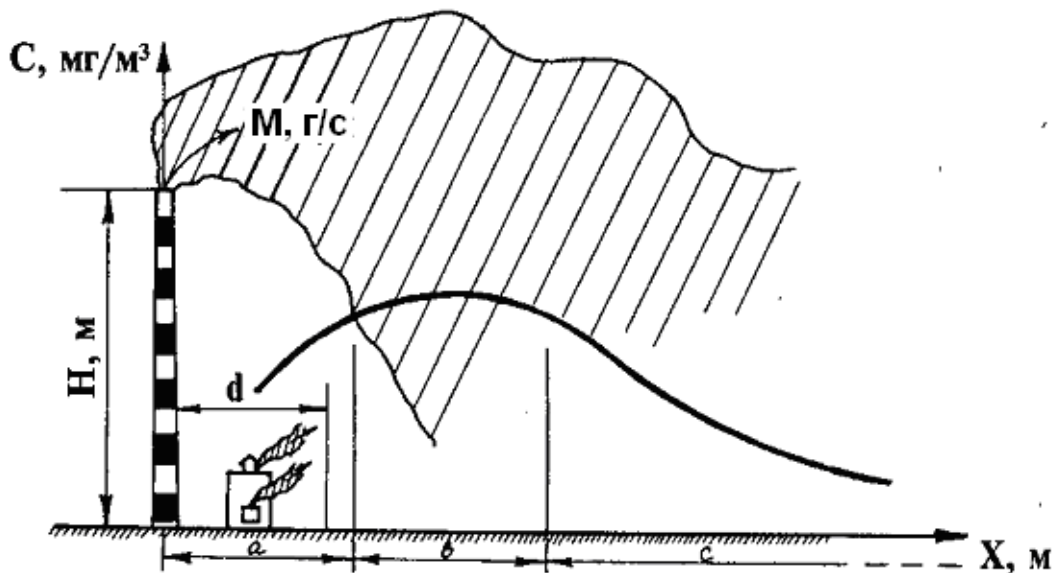


Рисунок 1.1 – Концентрація забруднювальних речовин в приземному шарі атмосфери під факелом точкового джерела:

а – зона перекидання факела; в – зона задимлення; с – зона поступового зниження рівня забруднення; d – зона забруднення неорганізованими викидами

Під факелом одиночного джерела викиду можна виділити чотири зони забруднення (рис. 1.1).

У середині зони перекидання факела високі концентрації речовин спостерігаються через неорганізовані викиди.

Зона задимлення є найбільш небезпечною і має бути виключена з селитебної забудови. Її розміри залежно від метеоумов знаходяться в межах 10–50 висот димаря.

Максимальна концентрація забруднювальної речовини в приземному шарі атмосфери прямо пропорційна масовій витраті забруднювальної речовини – M_i , зворотно пропорційна до квадрата висоти джерела – H^2 .

1.3 Висота початкового підйому

Підвищення температури й моменту кількості руху струменя газів, що викидаються, призводить до збільшення висоти димового факела та зниження приземної концентрації забруднювальних речовин (рис. 1.2).

За слабого вітру чітко видно, що дим із труби спочатку поширюється майже вертикально вгору і тільки на деякому рівні його рух набуває горизонтальних складових.

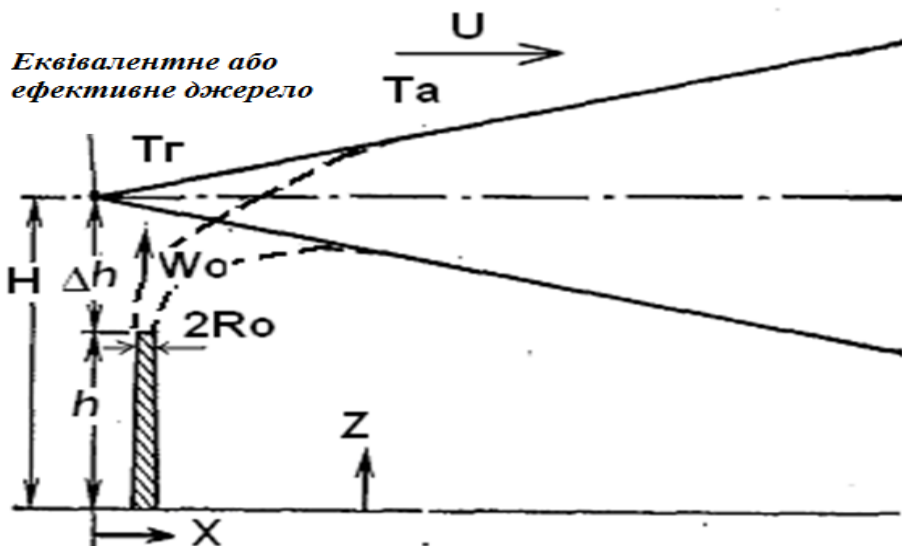


Рисунок 1.2 – Джерело викиду та ефективна висота джерела:

H – ефективна висота джерела; h – фізична висота джерела; Δh – висота початкового підйому викиду; U – швидкість вітру; T_g – температура викиду з джерела; T_a – температура атмосферного повітря; W_0 – швидкість викиду газів із джерела; R_0 – радіус джерела викиду (труби)

Це пов'язано з тим, що викиди з димових труб зазвичай мають початкову швидкість підйому і перегріті щодо навколишнього повітря. Створюється враження, що джерело димішки піднято над трубою на висоту Δh (висота початкового підйому димішки). Тому в розрахунках замість джерела з реальною висотою h варто розглядати деяке віртуальне джерело з характерною ефективною висотою H :

$$H = h + \Delta h,$$

де Δh залежить від швидкості вітру та перегріву димових газів відносно навколишнього повітря.

Значення Δh можна визначають за допомогою наближеної формули, отриманої на основі експериментальних даних. Під час її розроблення використовувалися фотографії димових факелів, отриманих у природних і лабораторних умовах.

$$\Delta h = \frac{3,75 w_0 R_0}{u} + \frac{1,6 g V_1 \Delta T}{T_a u^3},$$

де w_0 – швидкість газів на виході з джерела, м/с;

R_0 – радіус димового струменя, м;

u – швидкість вітру, м/с;

V_l – об’ємна витрата димових газів, m^3/c ;

ΔT – перегрівання газів відносно навколишнього повітря, $^{\circ}K$;

T_a – температура навколишнього атмосферного повітря, $^{\circ}K$.

Розсіювання в атмосфері газоподібних домішок і дрібнодисперсних твердих часток (діаметр менше 10 мкм), що мають незначну швидкість осадження, підкоряється одним і тим саме закономірностям. Для більших часток пилу ця закономірність порушується, оскільки швидкість їхнього осадження під дією сили тяжіння зростає.

У газоочисних апаратах великі частки пилу уловлюються ефективніше, ніж дрібні, тому у викидах після очищення залишаються тільки дрібні частки і їхнє розсіювання в атмосфері розраховують також, як і розсіювання газоподібних домішок.

2 КЛІМАТИЧНІ УМОВИ РОЗСІЮВАННЯ ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ

Метеоумови суттєво впливають на перенесення і розсіювання домішок в атмосфері. Найбільший вплив справляє режим вітру й температури (температурна стратифікація), опади, тумани, сонячна радіація [1–3].

Основними процесами, що забезпечують перемішування повітря в нижній атмосфері, є:

- температурний градієнт;
- механічна турбулентність, пов’язана із взаємодією вітру з підстилаючою поверхнею.

2.1 Вітер

Вітер може по-різному впливати на процес розсіювання домішок залежно від типу джерела і характеристики викидів. Якщо гази, що відходять, перегріті відносно навколишнього повітря, то вони мають початкову висоту підйому. У зв’язку з цим поблизу джерела створюється поле вертикальних швидкостей, що сприяють підйому факела і віднесенню домішок вгору. За слабких вітрів цей підйом зумовлює зменшення концентрацій домішок біля землі. Концентрація домішок біля землі зменшується і за дуже сильних вітрів, однак це відбувається завдяки швидкому перенесенню домішок у горизонтальному напрямку. У результаті найбільші концентрації домішок у приземному шарі формуються за деякої швидкості, яку називають «небезпечна».

Для низьких або холодних джерел викидів підвищений рівень забруднення повітря спостерігається за слабких вітрів ($\omega = 0 \div 1$ м/с) унаслідок скупчення домішок у приземному шарі. Отже, під час дослідження забруднення повітря в місті варто враховувати як повторюваність малих швидкостей вітру, так і повторюваність «небезпечної» швидкості вітру.

Прямий вплив на забруднення повітря в місті має напрям вітру. Істотне збільшення концентрації домішки спостерігається тоді, коли переважають вітри з боку промислових об'єктів.

2.2 Температура

Якщо температура навколишнього повітря знижується з висотою, нагріті струмені повітря піднімаються вгору, а на їхнє місце опускаються холодні (конвекція). Такі умови називаються конвективними.

Якщо температура навколишнього повітря підвищується з висотою (градієнт температури від'ємний або негативний), то потік, що вертикально піднімається, стає холоднішим від навколишніх мас і його рух загасає. Такі умови називаються стійкими інверсійними.

2.2.1 Інверсія температури

Інверсія температури (інверсійна стратифікація) – підвищення температури повітря з висотою. Якщо підвищення температури починається безпосередньо від поверхні землі, інверсію називають приземною (радіаційна інверсія), якщо ж із деякої висоти над поверхнею землі – припіднятою (інверсія осадження).

Інверсії ускладнюють вертикальний повітрообмін і розсіювання домішок в атмосфері. Інверсії температури в нижній тропосфері виникають у результаті таких явищ:

- охолодження земної поверхні внаслідок радіаційного випромінювання;
- охолодження приземного шару завдяки витратам тепла на випаровування води або танення снігу;
- стік холодного повітря в понижені частини рельєфу;
- на узбережжі морів у теплу пору року при морських бризах.

2.2.2 Градієнт температури і стійкість атмосфери

Будь-яка маса газу під час переміщення в атмосфері вгору розширюється, а під час переміщення вниз – стискується відповідно до розподілу тиску в атмосфері по вертикалі. Якщо градієнт температури по вертикалі дорівнює $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м , ці об'ємні зміни протікають адіабатно, тобто без підведення та відведення тепла. За різних метеоумов градієнт температури може бути як більше, так і менше адіабатного значення. У разі виникнення температурної інверсії він набуває протилежного знака.

Інтенсивність теплового перемішування (конвективна турбулентність) та ефективність розсіювання домішок в атмосфері можна визначити, порівнявши реальний градієнт температурний в навколишньому середовищі з адіабатичним вертикальним градієнтом температури.

Декілька можливих температурних градієнтів у навколишньому середовищі порівняно з адіабатичним градієнтом температури подано на рисунку 2.1.

Коли вертикальний температурний градієнт у навколишньому середовищі $(-\frac{dT}{dz})_{нс}$ більше адіабатичного градієнта Γ , атмосферу називають нададіабатичною. Це означає, що дійсний температурний градієнт більш негативний, ніж адіабатичний.

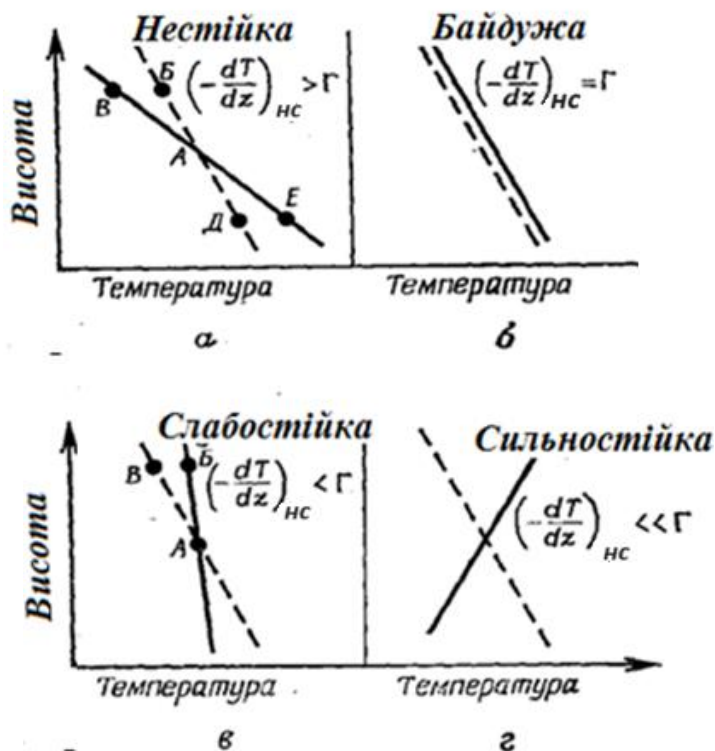


Рисунок 2.1 – Градієнт температури та стійкість атмосфери:

- — фактичний градієнт температури у навколишньому повітрі;
- - - - адіабатичний вертикальний градієнт температури

Для нададіабатичної атмосфери характерна наступна картина (рис. 2.2): при швидкому перенесенні невеликого об'єму повітря V з температурою T_A (випадок турбулентної флуктуації в атмосфері), його розширення добре апроксимується як адіабатичне. Його кінцевий стан може бути описано точкою Б, яка лежить на прямій адіабатичного градієнта. У цьому стані температура об'єму V у точці Б – T_B більша, ніж температура T_B навколишнього повітря на цій висоті. Точка T_B лежить на прямій температурного градієнта навколишнього повітря.

Розглянутий малий об'єм повітря V , таким чином, має меншу щільність, ніж навколишнє повітря (те ж саме тиск, але при вищій температурі), і має тенденцію продовжувати рух вгору.

Якщо такий самий об'єм повітря почне випадково рухатися вниз, він піддається адіабатичному стиску при температурі T_D , яка нижче температури навколишнього повітря T_E . Оскільки його щільність більша, об'єм, що розглядається, буде продовжувати рух вниз.

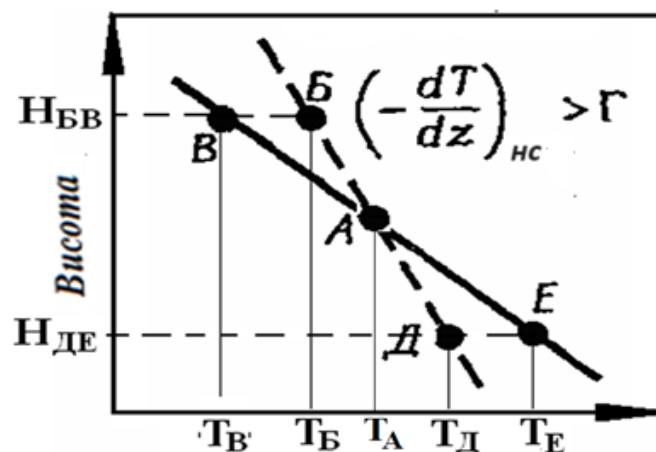


Рисунок 2.2 – Нестійка (нададіабатична) атмосфера

Описані щойно умови визначають нестійкість атмосфери, оскільки будь-який рух у вертикальному напрямі має тенденцію посилюватися.

Таким чином, будь-яка атмосфера, для якої характерний нададіабатичний градієнт температури, є нестійкою.

Ступінь стійкості атмосфери визначає здатність атмосфери розсіювати забруднювачі.

Стійкість атмосфери визначається відсутністю значних вертикальних рухів та перемішування.

2.2.3 Градієнт температури і форма струменя диму

Можливі варіанти розповсюдження струменя диму з високого одиночного джерела за різних градієнтів температури у приземному шарі показані на рисунку 2.3 [3]:

– *a* – хвилеподібний струмінь, сильна нестійкість:

Нададіабатний вертикальний температурний градієнт. Сильна конвективна турбулентність. Нестійкий стан атмосфери. Виникають клуби диму, забруднення інтенсивно розсіюються у великих об'ємах. На окремих ділянках приземного шару можуть бути високі концентрації.

Картина спостерігається у ясні дні за нагрівання земної поверхні сонцем, при слабких вітрах;

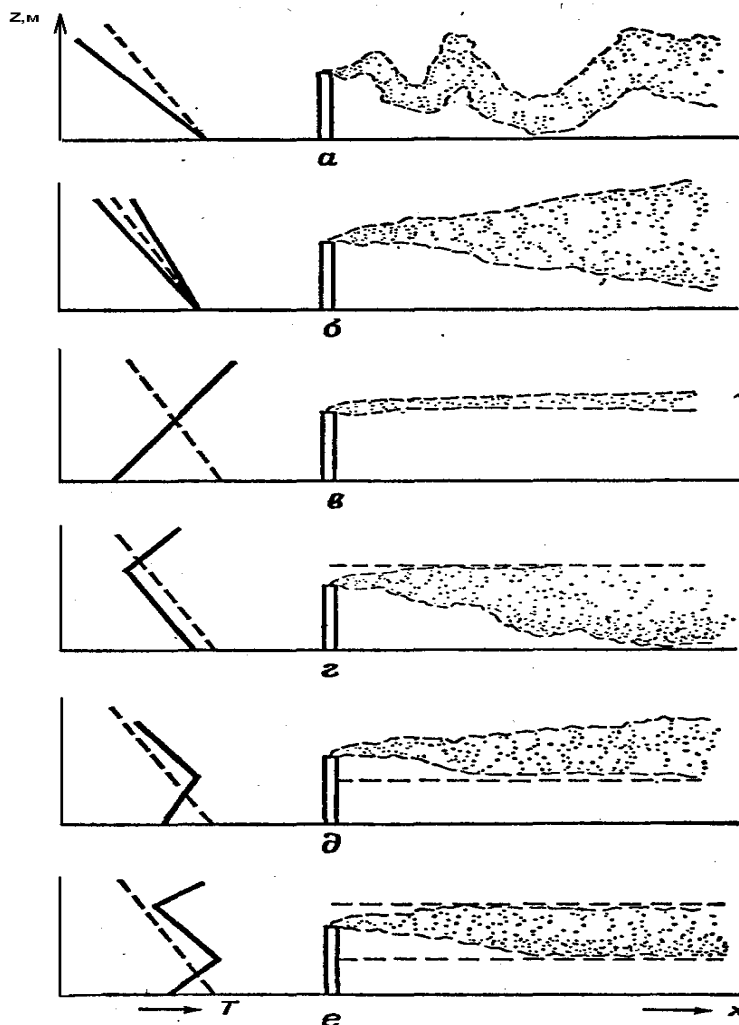


Рисунок 2.3 – Температурний профіль та форма струменя диму у площині XZ:

– – – – адіабатичний вертикальний градієнт температури;

— — — — градієнт температури в навколишньому повітрі (фактичний)

– б – конусоподібний струмінь, стійкість близька до байдужої:

Невеликі температурні градієнти. Домінує дрібномасштабна механічна турбулентність. Атмосферний стан стійкий і умови розсіювання забруднювальних речовин менш сприятливі. Димовий факел має форму конуса (половина кута розчину струменя становить 10°). Більшість домішок переноситься в напрямку вітру, перш ніж значні концентрації досягнуть поверхні землі.

Картина характерна для хмарних днів та ночей, при помірних вітрах. Хмарність перешкоджає притоку сонячної радіації вдень та відтоку інфрачервоного теплового випромінювання від поверхні землі вночі.

– в – віялоподібний струмінь, поверхнева інверсія, сильна стійкість:

Великий негативний градієнт температури. Товстий інверсійний шар. Слабка механічна турбулентність струменя набуває віялоподібної форми (форми віяла) і поширюється горизонтально. Перетин струменя наближається до еліптичного, забруднення видаляються далеко (великі відстані). Земної поверхні досягають низькі концентрації домішок.

Картина характерна для безвітряних, ясних ночей, коли земля охолоджується, випромінюючи тепло;

– г – задимлюючий струмінь, піднята інверсія вище горловини труби:

Інверсійний шар вище гирла труби є перепорою для розсіювання викидів. Утворюється задимлюючий струмінь, викиди забруднювальних речовин прямують до землі. Приземна концентрація багаторазово перевищує розрахункову.

Картина характерна для раннього ранку після ночі зі стійкою інверсією: ранкове сонце нагріває землю, розвивається негативний температурний градієнт у бік поверхні землі. Після досягнення негативним градієнтом висоти труби великі обсяги викиду, сформовані у вигляді віялоподібного струменя, переносяться до поверхні землі вздовж напрямку вітру;

– д – піднятий струмінь, інверсія нижче горловини труби:

Інверсія закінчується нижче гирла димової труби. Інверсійний шар слугує природною перепорою, що запобігає опусканню забрудненого струменя на землю. Забрудники розсіюються у напрямі вітру та помітних приземних концентрацій не утворюється.

Картина характерна для пополудні, раннього вечора при ясному небі. Протягом сонячного дня розвивається негативний температурний градієнт у нижньому шарі атмосфери. Тепло, що випромінюється поверхнею землі, в пізніше після полуденний час призводить до утворення інверсії поблизу

поверхні. При розвитку інверсії піднятий струмінь перетворюється на віялоподібний;

– е – обмежений струмінь, інверсії нижче та вище горловини труби:

При розміщенні інверсії як вище, так і нижче верхньої точки труби утворюються умови для обмеженого струменя. Розсіювання домішок відбувається лише у шарі між двома стійкими областями атмосфери.

Якщо при ослабленні вітру до штилю спостерігається інверсія, то може утворитися стеля, що перешкоджає підйому викидів. Концентрація домішок біля землі різко зростає. Тож стану атмосфери у містах велику небезпеку становить приземна інверсія температури разом із слабкими вітрами, тобто ситуація «застою повітря».

2.3 Тумани. Опади. Сонячна радіація

Тумани на вміст забруднювальних речовин в атмосфері впливають так: краплі туману поглинають домішки, причому не тільки поблизу поверхні, що підстилає, але і з вище лежачих, найбільш забруднених шарів повітря. Внаслідок цього концентрація домішок сильно зростає у шарі туману та зменшується над ним. Розчинення сірчистого газу у краплях туману призводить до утворення сірчаної кислоти.

Опади очищають повітря від домішок. Після інтенсивних тривалих опадів високі концентрації домішок в атмосфері практично не спостерігаються.

Сонячна радіація зумовлює фотохімічні реакції в атмосфері з утворенням різних вторинних продуктів, що мають часто більш токсичні властивості, ніж речовини, що надходять від джерел викидів. Наприклад, відбувається окислення сірчистого газу з утворенням сульфатних аерозолів.

2.4 Потенціал забруднення атмосфери

У низці випадків потрібно деталізацію або уточнення кліматичних умов стосовно урбанізованих територій, оскільки джерела промислових забруднень розташовані зазвичай в містах.

У великих містах формується свій мікроклімат, істотно міняються аеродинамічні, радіаційні, термічні і вологість характеристики атмосфери. Виділення в містах великої кількості тепла, зміна газового і аерозольного складу повітря призводять до підвищення температури повітря і утворення так званих «островів тепла». Підвищення температури над великим містом порівняно з

температурою навколишньої місцевості може спостерігатися до висоти в декілька сотень метрів [1].

Для вирішення практичних завдань, пов'язаних із захистом чистоти атмосфери, потрібна комплексна оцінка кліматичних умов перенесення і розсіювання домішок над заданим географічним районом. Для цього розроблений ряд різних показників. Наприклад, широко використовують показник – *потенціал забруднення атмосфери* (далі – ПЗА) – що є відношенням середніх рівнів концентрацій домішки при заданих викидах у конкретному \bar{C}_i і умовному \bar{C}_0 районах:

$$\text{ПЗА} = \frac{\bar{C}_i}{\bar{C}_0}.$$

ПЗА показує, у скільки разів середній рівень забруднення повітря в конкретному районі, який визначається реальною повторюваністю несприятливих для розсіювання домішок метеоумов, буде вищим, ніж в умовному районі, у якому несприятливі для розсіювання домішок метеоумови відсутні.

ПЗА – поєднання метеорологічних факторів, що зумовлюють рівень можливого забруднення атмосфери від джерел у певному географічному районі.

На території держав СНД ПЗА змінюється в межах від 2,1 до 4,0, тобто при рівних параметрах викидів рівень забруднення атмосфери у різних містах може відрізнитися майже вдвічі завдяки різної повторюваності несприятливих метеоумов.

Мінімальні значення ПЗА отримані для північно-західних районів європейської території, узбережжя Білого та Баренцевого морів, де відзначається мінімальна повторюваність слабких вітрів та приземних інверсій.

Максимальні значення ПЗА спостерігаються у Східному Сибіру, що пов'язано з потужними зимовими антициклонами, які зумовлюють слабкі вітри та стратифікацію атмосфери.

На території України ПЗА перебуває в межах 2,6–2,8.

3 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

3.1 Теорія атмосферної дифузії. Рівняння турбулентної дифузії

Розвиток методів прогнозу ґрунтується на результатах теоретичного та експериментального вивчення закономірностей поширення домішок, що викидаються джерелами забруднення атмосфери.

Перший напрямок вивчення поширення домішок полягає у розробці теорії атмосферної дифузії на основі математичного опису процесу за допомогою рівняння турбулентної дифузії. Воно дозволяє досліджувати поширення домішок від джерел різного типу за різних характеристик середовища.

У загальному вигляді задача прогнозу забруднення повітря математично може бути визначена як рішення за певних початкових та граничних умов диференціального рівняння:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 U_i \frac{\partial C}{\partial X_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial X_i} K_i \frac{\partial C}{\partial X_i} - aC,$$

де t – час;

X_i – координати;

U_i – складові середньої швидкості переміщення домішки;

K_i – складові коефіцієнта обміну;

$i = 1, 2, 3$ – напрямки осей координат;

a – коефіцієнт, що визначає зміну концентрації шляхом перетворення домішки.

C – концентрація домішки.

Застосувавши декартову систему координат, позначимо горизонтальні осі X_1 і X_2 через X та Y , вертикальну ось X_3 через Z відповідно швидкості $U_1 = u$; $U_2 = v$; $U_3 = w$; коефіцієнти обміну $K_1 = k_x$; $K_2 = k_y$; $K_3 = k_z$.

Рівняння набуває вигляду:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC.$$

Під час розв'язання практичних задач вигляд рівняння спрощується. Якщо вісь X зорієнтована у напрямку середньої швидкості вітру, то $v = 0$. Вертикальні переміщення в атмосфері над однорідною горизонтальною поверхнею малі і

вважатимуться $w = 0$, якщо домішка легка і не має власної швидкості переміщення..

Якщо розглядається важка домішка, що поступово осідає в атмосфері під дією гравітаційних сил, то w становить швидкість осадження, яка входить у рівняння зі знаком мінус.

За наявності вітру можна знехтувати членом k_x , що враховує дифузію по осі X , оскільки в цьому напрямку дифузійний потік домішки значно менше динамічного.

Зміни концентрацій в атмосфері з часом мають зазвичай квазістаціонарний характер і тому можна прийняти $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$.

Таким чином, останнє рівняння можна звести до вигляду:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} - w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC.$$

У разі легкої домішки:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC.$$

При розгляді легкої домішки, що зберігається:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z}.$$

3.2 Аналітичне рішення рівняння дифузії.

Особливість розподілу наземної концентрації вздовж осі факела

Під час прогнозу забруднення повітря основний інтерес становить визначення очікуваних концентрацій у приземному шарі висотою від 1 м до 2 м (від 5 м до 100 м).

Як показали дослідження, у приземному шарі повітря до рівня $z = h$ коефіцієнт обміну зростає пропорційно висоті; швидкість є логарифмічною функцією висоти.

При $z = 0$ (на рівні поверхні землі) можна приблизно прийняти як граничне значення $k_z = k_0$ – коефіцієнт молекулярної дифузії для повітря.

Аналітичний рішення рівняння дифузії можна записати для випадку, коли u і k_z задані степеневими функціями від z : ($u = u_1 \times z^n$; $k_z = k_1 \times z$) для домішки, яка легка і зберігається ($w = a = 0$). Розраховують наземну (при $z = 0$) концентрацію C за формулою:

$$C = \frac{M}{2(1-n)k_1\sqrt{\pi k_0 x^3}} e^{\frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1 x} - \frac{y^2}{4k_0 x}},$$

де M – викид речовини від джерела в одиницю часу, мг/с;

H – висота джерела викиду, м.

Характерною особливістю розподілу наземної концентрації C по осі X є наявність її максимуму C_m на відстані X_m від джерела викиду. Він знаходиться з умови: $\partial C / \partial x = \partial C / \partial y = 0$.

Результати розрахунку розподілу концентрації домішок від одиночного точкового джерела подані на рисунку 3.1.

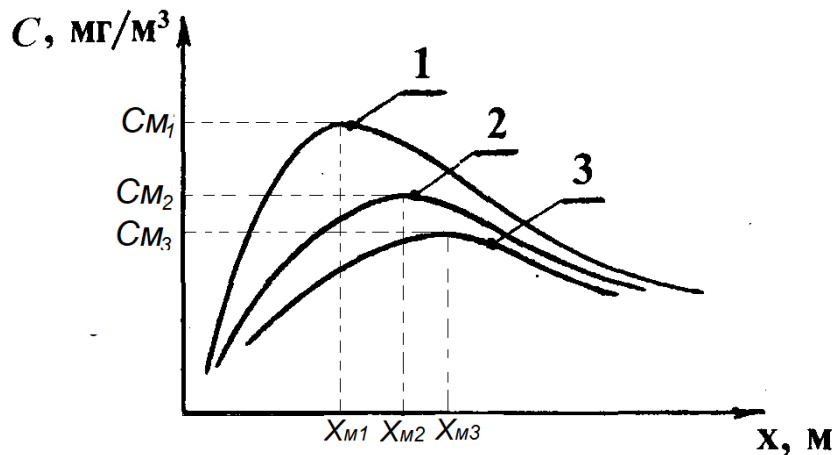


Рисунок 3.1 – Розподіл концентрацій домішки у повітрі від одиночного точкового джерела різної висоти H : $H_1 < H_2 < H_3$

Розрахунки показують, що за однакових параметрів викидів максимальна приземна концентрація домішки від вищого джерела менша ($C_{m3} < C_{m2} < C_{m1}$) і спостерігається на більшій відстані від джерела ($X_{m3} > X_{m2} > X_{m1}$).

4 РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ. МЕТОДИКА ОНД-86

Основним документом, що регламентує розсіювання та визначення приземних концентрацій домішок із джерел викидів в Україні, є «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств ОНД-86» [2].

Методика розроблена з урахуванням низки спрощень і усереднень. У методиці окремі чинники об'єднані в усереднені групи та чисельно враховуються комплексними узагальненими коефіцієнтами.

Методика призначена для вирішення практичних завдань, які пов'язані з прогнозом забруднення атмосферного повітря, і використовує формули, отримані на основі рішення рівняння турбулентної дифузії.

Методика дозволяє проводити розрахунки розсіювання домішок, що викидаються в атмосферу одиночними точковими, лінійними джерелами та групою джерел з урахуванням впливу рельєфу місцевості, визначати граничні концентрації забруднювальних речовин у двометровому шарі над поверхнею землі, а також вертикальний розподіл концентрацій [3; 4].

Ступінь забруднення атмосферного повітря визначається найбільшим розрахунковим значенням концентрації, що відповідає несприятливим метеорологічним умовам, небезпечної швидкості вітру.

Для речовин, що мають сумачію шкідливої дії, безрозмірна сумарна концентрація q (частки ГДК) та сумарна концентрація C (мг/м³), наведена до речовини C_1 , розраховується з використанням для кожного джерела значень потужності викиду M_q і M_c (г/с) відповідно:

$$q = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n};$$

$$M_q = \frac{M_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{M_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{M_n}{\text{ПДК}_n};$$

$$C = C_1 + C_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + C_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n};$$

$$M = M_1 + M_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + M_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n},$$

де C_1 , ГДК_1 – концентрація та гранично допустима концентрація речовини, до якої здійснюється приведення;

C_2, \dots, C_n і $\text{ГДК}_2, \dots, \text{ГДК}_n$ – концентрації та гранично допустимі концентрації інших речовин, що входять до групи сумачії.

4.1 Розрахунок забруднення атмосфери викидами одиночного джерела з круглим гирлом

Максимальне значення приземної концентрації забруднювальної речовини C_m (мг/м³) при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим гирлом досягається за несприятливих метеорологічних умов на відстані X_m і визначається за формулою:

$$C_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (4.1)$$

$$C_m = \frac{AMF\eta}{H^{4/3}} * \frac{D}{8V_1}, \quad (4.2)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери (140–250 для країн СНД);

M – маса забруднювальної речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу, г/с;

F – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднювальних речовин у повітрі;

m , n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду;

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

η – коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості (у разі рівної або слабопересіченої місцевості з перепадом висот не більше 50 м/км приймається $\eta = 1$);

V_1 – об'ємна витрата газоповітряної суміші, м³/с;

ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, і температурою навколишнього повітря, °С.

Формула 4.2 застосовується для холодних викидів, тобто при $\Delta T \approx 0$.

Максимальна концентрація забруднювальної речовини в приземному шарі атмосфери (формули 4.1; 4.2) прямо пропорційна масовій витраті забруднювальної речовини M і зворотно пропорційна висоті джерела H у ступені два і чотири третини відповідно.

Коефіцієнт A за несприятливих метеорологічних умов, що забезпечують максимальні значення концентрацій забруднювальних речовин у приземному

шарі атмосфери, має такі значення на території України для джерел, розташованих:

- на північ від 52° північної широти – $A = 160$;
- для джерел у зоні від 50° до 52° північної широти – $A = 180$;
- для джерел на південь від 50° північної широти – $A = 200$.

Під час визначення ΔT температуру навколишнього атмосферного повітря приймають рівною середньої температури зовнішнього повітря найбільш спекотного місяця року у 13 год 00 хв за місцевим часом.

Значення коефіцієнта F :

- для газоподібних забруднювальних речовин та дрібнодисперсних аерозолів, швидкість осідання яких близька до нуля, $F=1$;
 - для інших дрібнодисперсних аерозолів при ступеню очищення газів у пиловловлювачі $\eta \geq 0,9$ – $F=2$; при $0,75 < \eta < 0,9$ – $F=2,5$; при $\eta \leq 0,75$ – $F=3$;
 - за наявності даних про дисперсний склад пилу залежно від співвідношення Vg/U_m : при $Vg/U_m \leq 0,015$ – $F=1$; при $0,015 < Vg/U_m \leq 0,03$ – $F=1,5$;
- де Vg – швидкість витання частинок такого діаметра d_g , що маса всіх частинок діаметром більше d_g становить 5 % від загальної маси частинок, м/с;

U_m – небезпечна швидкість вітру, м/с.

Для отримання значень коефіцієнтів m та n визначаються такі проміжні коефіцієнти:

$$f = \frac{1000w_0^2 D}{H^2 \Delta T}; \quad (4.3)$$

$$V_m = 0,65^3 \sqrt{\frac{V_1 \Delta T}{H}}; \quad (4.4)$$

$$V_m^* = 1,3w_0 \frac{D}{H}; \quad (4.5)$$

$$f_e = 800(V_m^*)^3, \quad (4.6)$$

де D – діаметр гирла димової труби, м;

w_0 – швидкість виходу газоповітряної суміші з димової труби, м/с.

Коефіцієнт m визначають залежно від f за формулами:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34^3\sqrt{f}} \quad \text{при } f < 100, \quad (4.7)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f \geq 100. \quad (4.8)$$

При $f_e < f < 100$ для розрахунку m приймають $f = f_e$.

При $f \leq 100$ n визначається залежно від V_M за формулами:

$$\begin{aligned} n &= 1 && \text{при } V_M \geq 2 \\ n &= 0,532 \times V_M^2 - 2,13 \times V_M + 3,13 && \text{при } 0,5 \leq V_M < 2 \\ n &= 4,4 \times V_M && \text{при } V_M < 0,5 \end{aligned} \quad (4.9)$$

Для визначення коефіцієнтів m та n можна використовувати графіки, подані на рисунках 4.1 і 4.2.

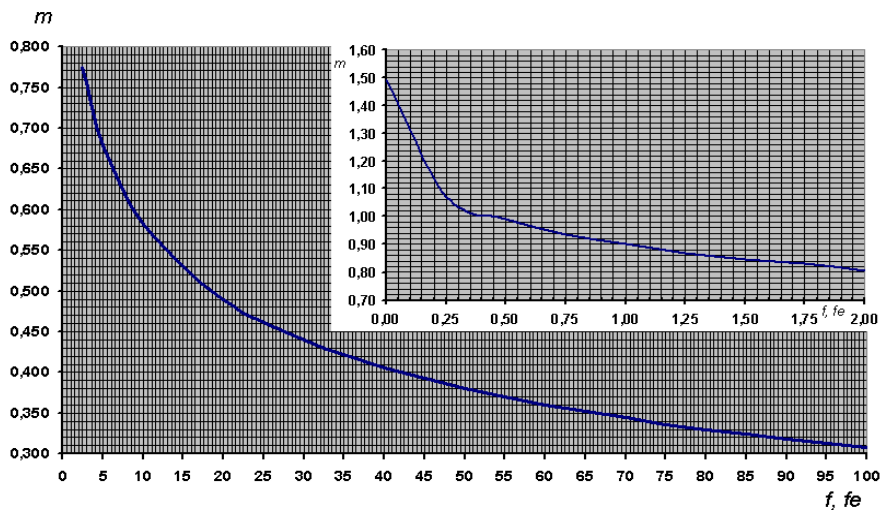


Рисунок 4.1 – Графіки визначення коефіцієнта m

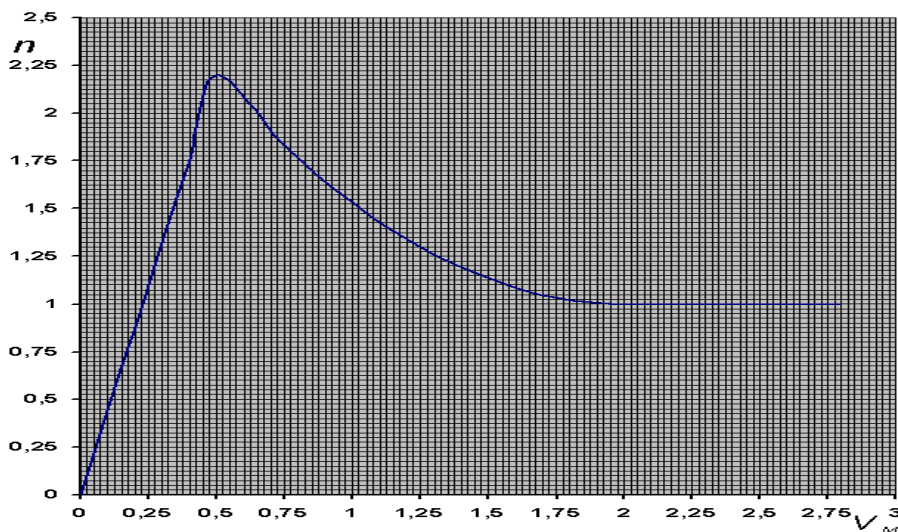


Рисунок 4.2 – Графіки визначення коефіцієнта n

При $f \geq 100$ або $\Delta T \approx 0$ і $V_m^l \geq 0,5$ (холодні викиди) при розрахунку C_m замість формули (4.1) використовується формула:

$$C_m = \frac{AMFn\eta}{H^{\frac{4}{3}}} K, \quad (4.10)$$

де $K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1\sqrt{W_0V_1}}$;

n визначається за формулами (4.9) із підстановкою замість V_m значень V_m^l .

Аналогічно при $f < 100$ і $V_m < 0,5$ або $f \geq 100$ і $V_m^l < 0,5$ (випадки гранично малих небезпечних швидкостей вітру) розрахунок C_m замість формули 4.1 ведеться за формулою:

$$C_m = \frac{AMFm^l\eta}{H^{\frac{7}{3}}}, \quad (4.10)$$

де $m^l = 2,86t$ при $f < 100$, $V_m < 0,5$;

$m^l = 0,9$ при $f \geq 100$, $V_m^l < 0,5$.

Відстань $X_m(m)$, на якій приземна концентрація C ($мг/м^3$), за несприятливих метеоумов досягає максимального значення C_m , визначається за формулою:

$$x_m = \frac{(5 - F)dH}{4}, \quad (4.11)$$

де d – безрозмірний коефіцієнт розраховують за формулами:

при $f < 100$:

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

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

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

при $f > 100$ або $\Delta T \approx 0$ значення d знаходять за формулами:

$$d = 5,7 \quad \text{при } V_m^l \leq 0,5,$$

$$d = 11,4V_m^l \quad \text{при } 0,5 < V_m^l \leq 2,$$

$$d = 16\sqrt{V_m^l} \quad \text{при } V_m^l > 2.$$

Значення небезпечної швидкості вітру U (м/с), при якій досягається найбільше значення приземної концентрації забруднювальних речовин C_m , розраховують за формулами:

при $f < 100$:

$$U_m = 0,5V_m \quad \text{при } V_m \leq 0,5;$$

$$U_m = V_m \quad \text{при } 0,5 < V_m \leq 2;$$

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

при $f \geq 100$ або $\Delta T \approx 0$:

$$U_m = 0,5 \quad \text{при } V_m^l \leq 0,5;$$

$$U_m = V_m^l \quad \text{при } 0,5 < V_m^l \leq 2;$$

$$U_m = 2,2V_m^l \quad \text{при } V_m^l > 2.$$

При небезпечній швидкості вітру U_m , (м/с) приземна концентрація забруднювальних речовин C_x (мг/м³) в атмосфері по осі факела викиду на відстані X від джерела визначається за формулою:

$$C_x = S_1 C_m,$$

де S_1 – безрозмірний коефіцієнт, що визначається за формулами:

$$S_1 = 3a^4 - 8a^3 + 6a^2 \quad \text{при } a \leq 1;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13a^2 + 1} \quad \text{при } 1 < a \leq 8;$$

$$S_1 = \frac{a}{3,58a^2 - 35,2a + 120} \quad \text{при } F \leq 1,5 \text{ і } a > 8;$$

$$S_1 = \frac{1}{0,1a^2 + 2,47a - 17,8} \quad \text{при } F > 1,5 \text{ і } a > 8,$$

де $a = X/X_m$.

Безрозмірний коефіцієнт S_1 можна визначити також за графіком на рисунку 4.3.

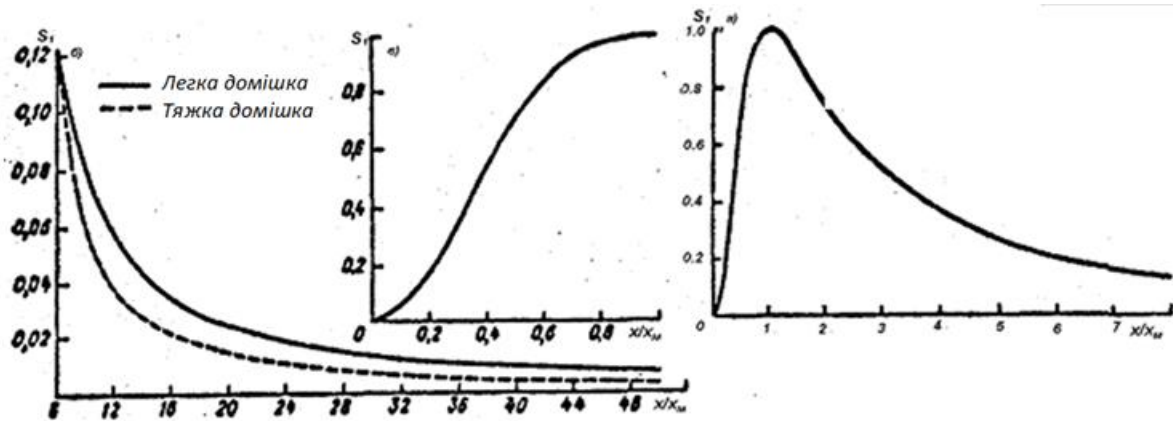


Рисунок 4.3 – Графіки для визначення коефіцієнта S_1

Значення приземної концентрації забруднювальних речовин в атмосфері C_y ($мг/м^3$) на відстані y ($м$) по перпендикуляру до осі факела викиду визначають за формулою:

$$C_y = S_2 \times C_x,$$

де S_2 – безрозмірний коефіцієнт (залежить від швидкості вітру U та відношення U/X) визначають за значенням аргументу t_y за формулою:

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4)^2},$$

де $t_y = Uy^2/x^2$ при $U \leq 5$; $t_y = 5y^2/x^2$ при $U > 5$.

4.2 Розрахунки забруднення атмосфери викидами джерела з прямокутним устям

Розрахунки забруднення атмосфери при викидах газоповітряної суміші з джерела з прямокутним гирлом (шахти) проводяться за наведеними вище формулами за середньої швидкості ω_0 для значень $D = D_e$ ($м$) і $V_1 = V_{1e}$ ($м^3/с$).

Середня швидкість виходу в атмосферу газоповітряної суміші ω_0 ($м/с$) визначається за формулою:

$$\omega_0 = \frac{V_1}{Lb},$$

де L – довжина гирла, $м$;

b – ширина гирла, $м$.

Ефективний діаметр гирла D_e (м) визначається за формулою:

$$D_e = \frac{2Lb}{L+b}$$

Ефективна витрата газоповітряної суміші V_{1e} (m^3/c), яка виходить в атмосферу в одиницю часу, визначається за формулою:

$$V_{1e} = \frac{\pi D_e^2}{4} \omega_0. \quad (4.12)$$

4.3 Розрахунок забруднення атмосфери викидами лінійного джерела

Прикладом лінійного джерела може бути аераційний ліхтар цеху (рис. 4.4).

Під час розрахунку розсіювання викидів від лінійного джерела довжиною L найбільша концентрація шкідливої домішки C_m досягається у разі вітру вздовж джерела на відстані X_m від проєкції його центра на земну поверхню.

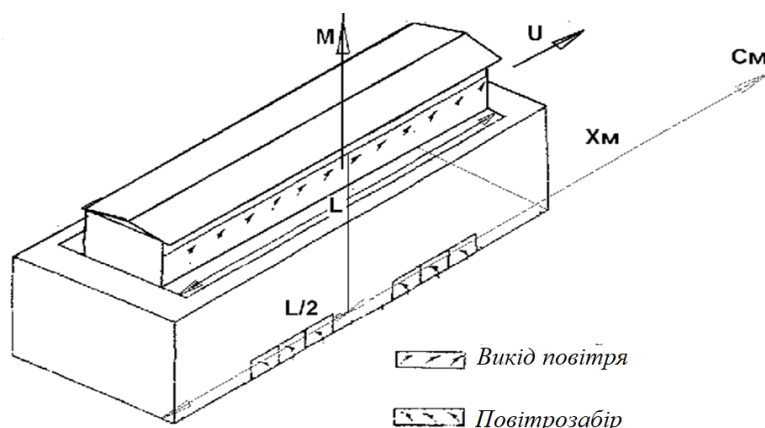


Рисунок 4.4 – Схема лінійного джерела – аераційного ліхтаря

Під час розгляду аераційного ліхтаря (рис. 4.4) як лінійного джерела значення C_m (mg/m^3) та відстані x_m (м) визначаються за формулами:

$$C_m = S_3 C_m^I;$$

$$x_m = \frac{L}{2} + S_4 x_m^I$$

$$U_m = U_m^I.$$

Значення C_m^I і X_m^I а також відповідне їм значення U_m^I приймаються рівними максимальної концентрації C_m , відстані X_m і небезпечної швидкості U_m для одиночного джерела тієї ж потужності M з круглим гирлом діаметром D_e і витратою газоповітряної суміші, що викидається V_{Ie} . При цьому ефективний діаметр гирла ліхтаря D_e визначається за формулою:

$$D_e = \frac{2LV_1}{L^2w_o + V_1},$$

де V_1 – витрата газоповітряної суміші, що викидається з ліхтаря в одиницю часу, m^3/c ;

w_o – середня швидкість виходу із ліхтаря газоповітряної суміші, m/c .

Величина V_{Ie} визначається за знайденим значенням D_e і формулою (4.12).

За висоту джерела викиду $H(m)$ приймається висота над рівнем землі верхньої кромки ліхтаря.

Безрозмірні коефіцієнти S_3 і S_4 визначаються залежно від відношення L/X_m^I за формулами:

$$S_3 = \frac{1 + 0,45L / X_m^I}{1 + 0,45L / X_m^I + 0,1(L / X_m^I)^2}$$

$$S_4 = \frac{1}{1 + 0,6L / X_m^I}.$$

При довільному напрямку вітру по відношенню до лінійного джерела типу аераційного ліхтаря це джерело умовно представляється у вигляді групи N однакових рівновіддалених точкових джерел. Для кожного з цих одиночних джерел значення максимальної концентрації шкідливої домішки C_m та відповідних їй відстані X_m та небезпечної швидкості U_m визначаються за формулами:

$$C_m = \frac{C_m^I}{N}; \quad X_m = X_m^I; \quad U_m = U_m^I.$$

Число однакових рівновіддалених одиночних джерел N , на яке ділиться аераційний ліхтар при розрахунках, визначається (з округленням до найближчого цілого числа) за формулою:

$$N = \frac{5L\sqrt{u}}{x}$$

де x – найменша відстань від аераційного ліхтаря до розрахункової точки на місцевості, m ;

u – розрахункова швидкість вітру, m/c .

4.4 Розрахунок забруднення атмосфери викидами групи джерел і площинних джерел

Приземна концентрація шкідливих речовин у будь-якій точці місцевості за наявності N джерел є сума концентрацій речовин від окремих джерел при заданому напрямку та швидкості вітру та визначається за формулою:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N + C_\phi,$$

де C_1, C_2, \dots, C_N – концентрації шкідливої речовини відповідно від першого, другого, N -го джерел, розташованих із навітряного боку за розглянутого напрямку вітру;

C_ϕ – фонові концентрації.

Доданок C_ϕ у правій частині рівняння додають у разі, коли є невраховані (фонові) джерела викидів тієї самої речовини або речовин, що мають із нею ефект сумачії (від інших підприємств, інших промислових районів).

З метою прискорення і спрощення розрахунків кількість джерел викидів, що розглядаються, скорочується шляхом їхнього об'єднання (особливо дрібних джерел) в окремі умовні джерела. Подібне об'єднання можливе за дотримання певних умов.

Значення максимальної сумарної концентрації від N розташованих на майданчику близько один від одного одиночних джерел, що мають рівні значення висоти, діаметра гирла, швидкості виходу в атмосферу і температури газоповітряної суміші, визначається за формулою:

$$C_M = \frac{AMFmn\eta}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V\Delta T}},$$

де M – сумарна потужність викиду всіма джерелами в атмосферу, g/c ;

V – сумарна витрата газоповітряної суміші, що викидається всіма джерелами, m^3/c .

Параметр V визначається за формулою:

$$V = V_1 \times N.$$

Параметр V_M (формула 4.4) визначається за формулою:

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V\Delta T}{NH}}.$$

В іншому схема розрахунку концентрацій речовин для викидів від групи близько розташованих джерел не відрізняється від розрахунку викидів одиничного джерела.

Якщо C_m від групи дрібних джерел за речовиною, що розглядається, не перевищує $0,05$ ГДК, зазначені джерела можуть бути виключені з розгляду.

Для прискорення і спрощення розрахунків приземних концентрацій на кожному підприємстві розглядаються ті зі шкідливих речовин, що викидаються, для яких виконуються умови:

$$\frac{M}{ГДК} > \Phi ;$$

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

$$\Phi = 0,1 \text{ при } \bar{H} \leq 10\text{м} .$$

де M – сумарне значення викиду від усіх джерел підприємства, що відповідає найнесприятливішим зі встановлених умов викиду, включно з вентиляційними джерелами та неорганізованими викидами, г/с;

$ГДК$ – максимальна разова гранично допустима концентрація забруднювальної речовини, мг/м³;

\bar{H} – середньозважена по підприємству висота джерел викиду, м.

Середньозважену висоти джерел по підприємству розраховують за формулою:

$$\bar{H} = \frac{5 M_{(0-10)} + 15 M_{(11-20)} + 25 M_{(21-30)} + \dots}{M} ;$$

$$M = M_{(0-10)} + M_{(11-20)} + M_{(21-30)} + \dots ,$$

де $M_{(0-10)}$, $M_{(11-20)}$, $M_{(21-30)}$... – сумарні викиди речовини в інтервалі висот джерел до 10 м включно, від 11 м до 20 м, від 21 м до 30 м і так далі.

4.5 Радіус зони впливу джерела

Радіус зони впливу кожного джерела визначається як найбільше з двох відстаней X_1 і X_2 , де $X_1 = 10X_m$, а величина X_2 – визначається як відстань від джерела, починаючи з якого $C \leq 0,05$ ГДК.

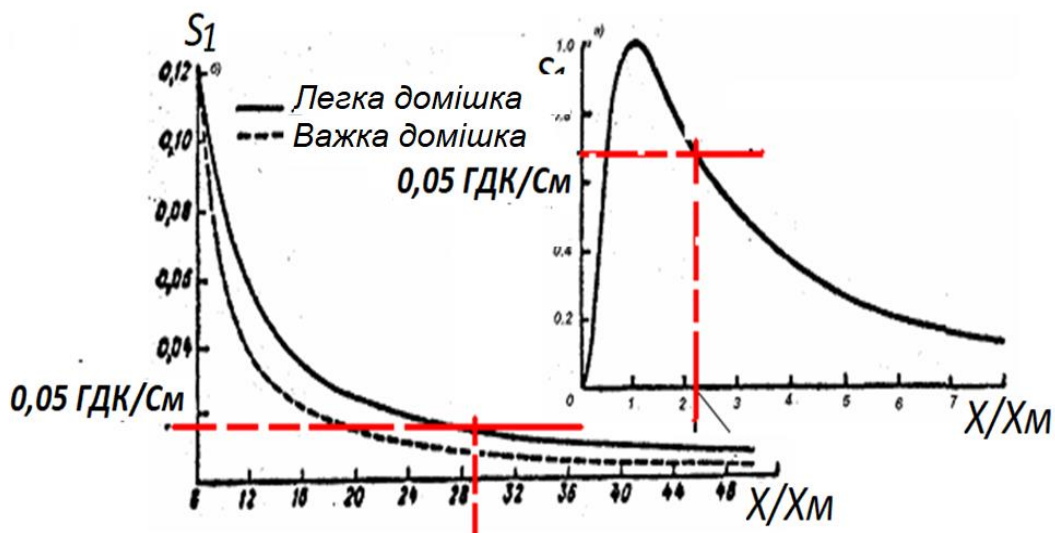


Рисунок 4.5 – Схема визначення відстані X_2

Алгоритм визначення величини X_2 показаний рисунку 4.5

Значення X_2 знаходять з графіка функції $S_1=f(X/X_M)$. На вертикальній осі відкладають точку $0,05\text{ГДК}/C_M$, через неї проводиться паралельна осі горизонтальна лінія до перетину з графіком функції $S_1=f(X/X_M)$ за максимумом. З точки перетину опускається перпендикуляр на горизонтальну вісь. Отримане значення X/X_M множать на X_M і набувають шукане значення X_2 .

4.6 Рішення зворотних завдань

Рішення зворотних задач передбачає визначення гранично допустимого викиду $M = \text{ГДВ}$ і висоти труби H , що відповідають заданому рівню максимальної приземної концентрації C_M за інших фіксованих параметрів викидів з використанням формул 4.1 і 4.2.

Потужність викиду M (г/с), що відповідає заданому значенню максимальної концентрації $C_M = (\text{ГДК} - C_\phi)$ (мг/м³), визначається за формулою:

$$M = \text{ГДВ} = \frac{(\text{ГДК} - C_\phi)H^2}{AFm\eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}.$$

У разі $f \geq 100$ або $\Delta T \approx 0$ використовується формула 4.2:

$$M = \text{ГДВ} = \frac{(\text{ГДК} - C_\phi)H^{4/3}}{AF\eta} \cdot \frac{8V_1}{D}.$$

Значення мінімальної висоти H (м) при гарячих викидах ($\Delta T > 0$) спочатку визначається з виразу для холодного джерела за формулою:

$$H = \left[\frac{AMFD\eta}{8V_1(\Gamma DK - C_\phi)} \right]^{3/4}.$$

Якщо знайдене значення $H \leq \omega_0 \sqrt{\frac{10D}{\Delta T}}$, то воно є остаточним. В іншому випадку попереднє значення мінімальної висоти визначається за формулою:

$$H = \sqrt{\frac{AMF\eta}{(\Gamma DK - C_\phi) \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}}.$$

За знайденим значенням H визначаються величини коефіцієнтів f , V_m , V_m^i , f_e за формулами 4.3–4.6 і отримують у першому наближенні коефіцієнти $m = m_1$ та $n = n_1$. Якщо добуток $m_1 n_1 \neq 1$, то за величинами m_1 та n_1 визначають друге наближення $H = H_2$ за формулою:

$$H_2 = H_1 \sqrt{m_1 n_1}.$$

У загальному випадку ($i+1$) наближення H_{i+1} визначається за формулою:

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_i n_i}{m_{i-1} n_{i-1}}},$$

де m_i та n_i відповідають H_i , а m_{i-1} та n_{i-1} – H_{i-1} .

Уточнення значення H необхідно проводити до тих пір, поки знайдені значення H_i і H_{i-1} практично дорівнюють один одному (з точністю до 1 метра).

4.7 Врахування впливу рельєфу місцевості під час розрахунку забруднення атмосфери

Вплив рельєфу місцевості на величину максимальної приземної концентрації враховується безрозмірним коефіцієнтом η .

Значення η встановлюється на основі аналізу картографічного матеріалу в радіусі до 50 висот найбільш високого з розміщених на проммайданчику джерела, але не менше ніж до 2 км.

Якщо в околиці джерела викидів (підприємства), що розглядається, є окремі ізольовані перешкоди, витягнуті в одному напрямку (гряда, улоговина, уступ), то поправочний коефіцієнт на рельєф η визначається за формулою:

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

де η_m – безрозмірна величина визначається за таблицею 4.1 в залежно від форм рельєфу та безрозмірних величин n_1 і n_2 .

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта η_m

n_1	Улоговина (западина)				Уступ				Гряда (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

Форми рельєфу подані на рисунку 4.6 значення n_1 (з точністю до десятих) і n_2 (з точністю до цілих) визначаються за формулами:

$$n_1 = H / h_o;$$

$$n_2 = a_o / h_o;$$

де H – висота джерела;

h_o – висота (глибина) перешкоди, м;

a_o – півширина гряди, пагорба балки або протяжність бічного схилу уступу, м;

x_o – відстань від середини перешкоди у разі гряди або улоговини та від верхньої кромки схилу у разі уступу до джерела, м (рис. 4.6).

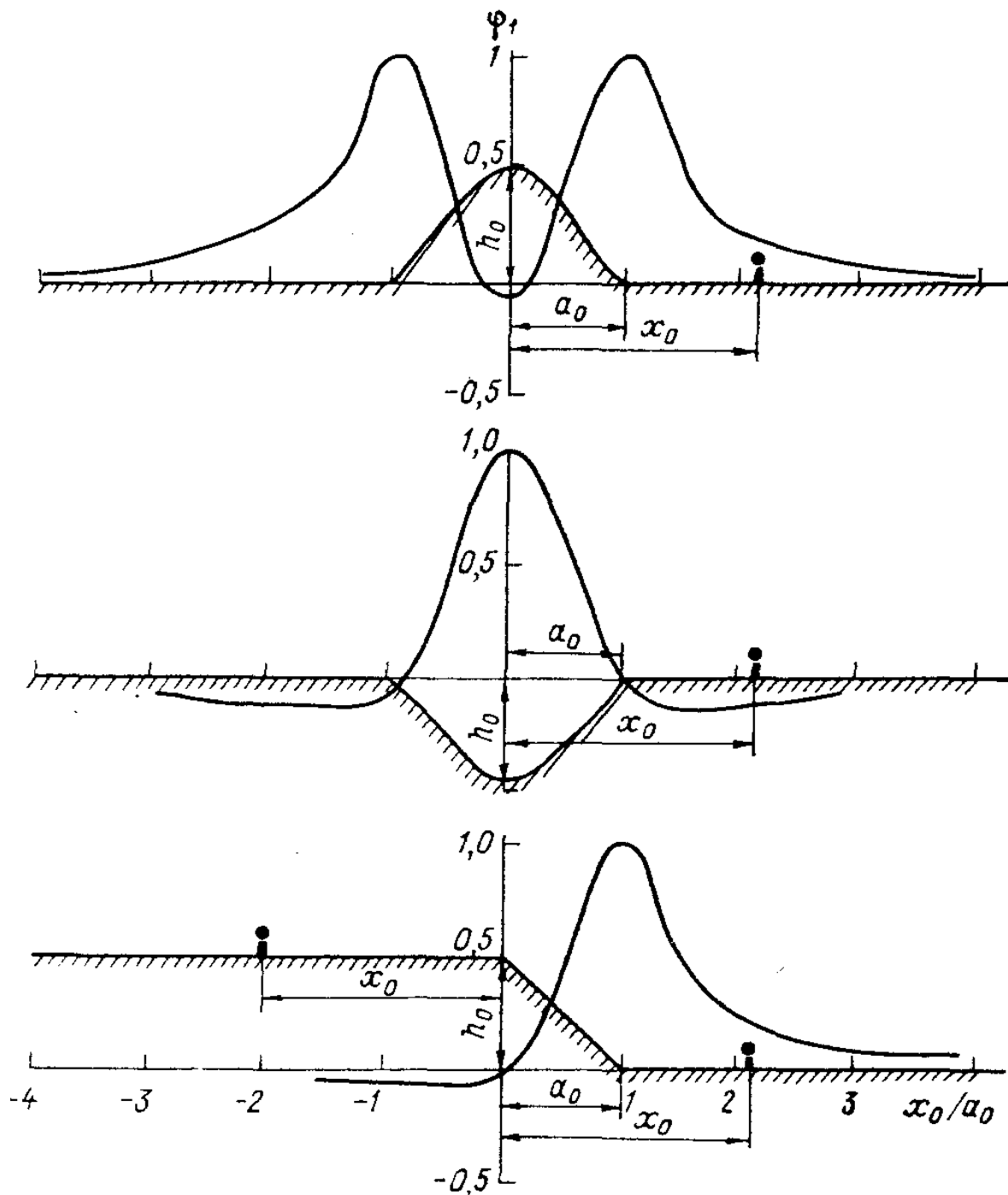


Рисунок 4.6 – Значення функції φ_1 залежно від (x_0/a_0)

Значення функції φ_1 визначається залежно від відношення $|x_0|/a_0$ за графіками, відповідним різним формам рельєфу.

Якщо перешкода є окремим пагорбом або улоговиною (впадиною), то h_0 вибирається відповідною максимальною (мінімальною) відміткою перешкоди, а n_2 – максимальною крутизною схилу, зверненого до джерела.

Для джерел викиду, розташованих у зоні впливу кількох ізольованих перешкод, визначаються значення η кожної перешкоди й у розрахунку використовується максимальне з них.

Врахування впливу рельєфу місцевості під час визначення відстані X_m , де досягається максимум приземної концентрації, здійснюється шляхом множення коефіцієнта d у формулі 4.11 для розрахунку X_m на відношення:

$$\frac{1,1}{\sqrt{\eta + 0,2}} \cdot \quad (4.13)$$

При розрахунку приземних концентрацій по осі факела на різних відстанях від джерела за формулою $C_x = S_l \times C_m$ відношення X/X_m визначається з урахуванням поправки (формула 4.13) для значень $X < 6,2X_m^{(0)}\sqrt{\eta - 1}$ ($X^{(0)}_m = X_m$ при $\eta = 1$ – умови рівної або слабо пересіченої місцевості).

Для великих значень X під час обчислення X/X_m використовуються значення $X_m = X_m^{(0)}$.

5 РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ. ГАУСОВА МОДЕЛЬ РОЗСІЮВАННЯ

5.1 Загальна характеристика гаусова або нормального розподілу

Змінна X нормально розподілена, якщо виконується співвідношення функції щільності $f(x)$:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right],$$

де μ – будь-яке дійсне число;

σ – стандартне відхилення (будь-яке дійсне число більше нуля);

μ – математичне очікування випадкової величини – число, навколо якого зосереджені значення випадкової величини.

Стандартне відхилення (дисперсія) випадкової величини характеризує міру розкиду випадкової величини при її математичному очікуванні.

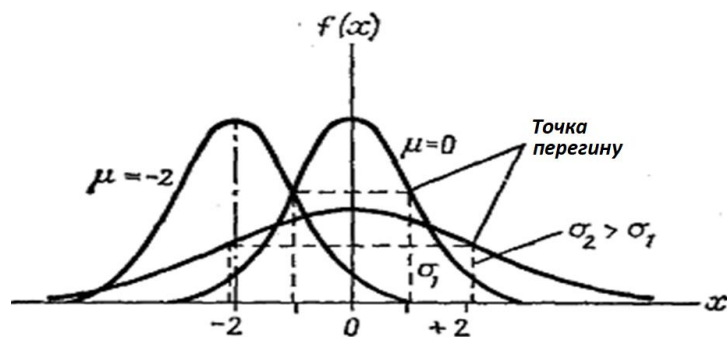


Рисунок 5.1 – Гаусовий (нормальний) розподіл для різних значень μ і σ

У нормальному розподілі μ визначає положення максимального значення $f(x)$ на осі x .

Функція гаусового розподілу в нормованому вигляді – площа, обмежена кривою, дорівнює одиниці.

σ – розширює або стискає дзвоноподібну криву (площа під кривою завжди дорівнює одиниці).

У загальному випадку близько 68 % площі під кривою перебуває в інтервалі між від $+\sigma$ до $-\sigma$, а близько 95 % – між від $+2\sigma$ до -2σ .

Це зростання ширини функції розподілу зі збільшенням σ має важливий фізичний сенс щодо розсіювання забруднювачів у атмосфері.

Таким чином, μ та σ є характеристиками положення та форми кривої гаусового розподілу.

Рівняння для розсіювання забруднювачів матимуть вигляд подвійного гаусового розподілу. Подвійний гаусовий розподіл відносно двох координат (Y і Z) отримують простим перемноженням двох гаусових розподілів по кожній із координатних осей і подають у такому вигляді:

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[\frac{-(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} + \frac{-(z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right].$$

5.2 Основне рівняння розсіювання домішок у гаусовій теорії

Усі моделі оцінки розсіювання забруднювальних речовин у атмосфері зводяться до однієї й тієї функції розподілу концентрації забруднювача – гаусового розподілу.

Агентство охорони навколишнього середовища США використовує як основу моделі розсіювання статистичну (гаусову) теорію, згідно з якою дрібні

частинки та газові домішки розсіюються в атмосфері за законами нормального розподілу.

Струмінь диму поширюється вздовж (паралельно) осі X. Овальні фігури є перерізом спрощеного струменя. Профілі концентрацій по осях Y, Z підпорядковуються законам нормального розподілу (рис. 5.2).

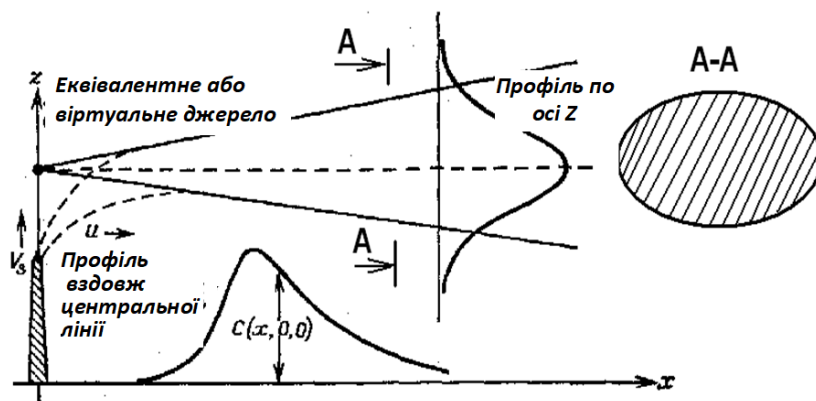


Рисунок 5.2. – Профілі концентрацій вздовж центральної лінії X та вздовж осі Z

Основне рівняння розсіювання в гаусовій теорії має вигляд:

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (5.1)$$

де C – концентрація в деякій точці з координатами x ; y ; z ; g/m^3 ;

M – потужність викиду, g/s ;

H – висота віртуального джерела (сума геометричної висоти труби та початкового підйому струменя), m ;

u – середня швидкість вітру, m/s ;

5.2.1 Прийняті допущення

Під час розгляду гаусового струменя прийняті такі припущення:

– розсіювання струменя в горизонтальній та вертикальній площинах описується гаусовим розподілом зі стандартними відхиленнями розподілу концентрацій σ_y та σ_z по осях Y та Z відповідно;

– середня швидкість вітру U , що діє на струмінь, є постійною у всьому шарі поширення струменя, напрям вітру не змінюється;

- потужність викиду постійна;
- має відбиток струменя від землі, тобто, немає осадження або взаємодії струменя з поверхнею, що підстилає (рис. 5.3).

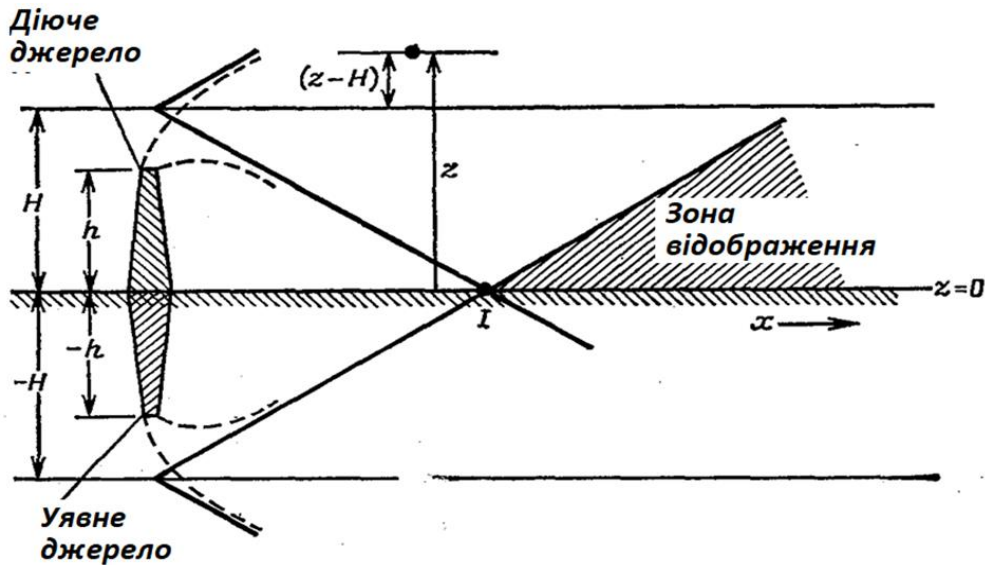


Рисунок 5.3 – Схема відбиття струменя від поверхні землі

З рисунку видно, що відбиток на деякій відстані X математично еквівалентно наявності дзеркального відображення джерела з ординатою $-H$. Затінена площа після точки I на діаграмі показує область атмосфери, у якій концентрація збільшується більше очікуваної, що відповідає джерелу з висотою H .

Це збільшення концентрації визначається математично лінійною суперпозицією двох кривих гаусового типу, однією з центром на висоті H та іншою – на висоті $-H$. Це еквівалентно об'єднанню двох рівнянь: одне містить член $(z+H)$, інше – член $(z-H)$. У результаті рівняння для концентрації для високого джерела з урахуванням відображення матиме вигляд, що відповідає формулі 5.1.

5.2.2 Окремі випадки розрахунку приземних концентрацій

Для розрахунку концентрації тільки біля поверхні землі (координата $Z = 0$) рівняння (5.1) набуває вигляду:

$$C(x, y, 0, H) = \frac{M}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (5.2)$$

Для розрахунку концентрації біля поверхні землі, вздовж осьової лінії струменя (координати $Z = 0, Y = 0$) рівняння (5.1) набуває вигляду:

$$C(x,0,0,H) = \frac{M}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right).$$

Для розрахунку концентрації біля поверхні землі, вздовж осьової лінії струменя, для наземного джерела (координати $Z=0, Y=0, H=0$) рівняння (5.1) набуває вигляду:

$$C(x,0,0,0) = \frac{M}{\pi u \sigma_y \sigma_z}.$$

5.3 Практичне використання рівнянь моделі Гауса

Для практичного використання наведених вище рівнянь, крім фізичних даних (координати, потужність викиду, ефективна висота джерела), необхідно також знати величини u, σ_y, σ_z .

Зазвичай використовують значення швидкості вітру u , усереднене по всьому струменю. Через труднощі її визначення приймають середню швидкість вітру лише на рівні горловини труби.

Коефіцієнт вертикальної дифузії σ_z характеризує розширення струменя по вертикалі.

Коефіцієнт горизонтальної дифузії σ_y характеризує розширення струменя в горизонтальній площині.

Значення σ_y, σ_z (горизонтальне та вертикальне стандартне відхилення) залежать від положення точки X у напрямку вітру від джерела та умов стійкості атмосфери.

Значення σ_y, σ_z визначають за діаграмами, отриманими експериментальним шляхом (рис. 5.4; 5.5). На рисунках – А, В, С, D, Е, F – різні класи стійкості атмосфери:

– А – відповідає найбільшій нестійкості (ясне небо, висота сонця над горизонтом понад 60° , типовий літній сонячний день після полудня. Дуже конвективна атмосфера;

– F – відповідає найбільшій стійкості атмосфери.

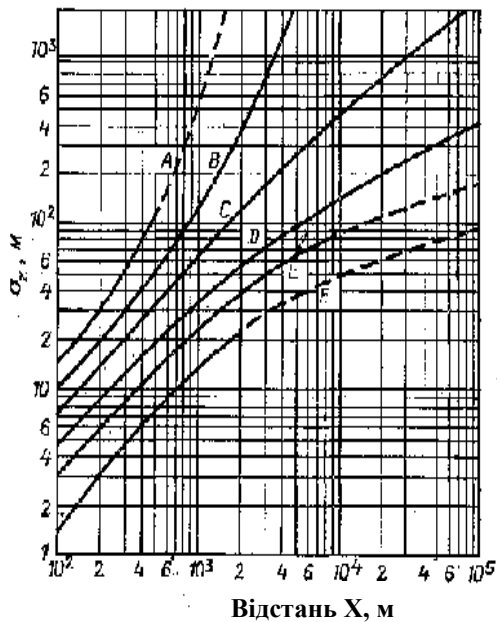


Рисунок 5.4 – Стандартне відхилення σ_z у вертикальному напрямку

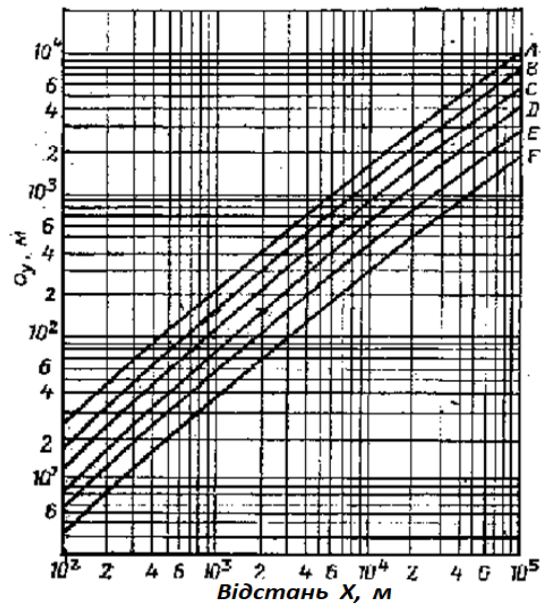


Рисунок 5.5 – Стандартне відхилення σ_y у горизонтальному напрямку

При оцінці розсіювання газів зазвичай вибирають такий клас стійкості, типовий для певного району, який дає найгірші характеристики з погляду забруднення атмосфери.

5.3.1 Визначення категорії (класу стійкості) атмосфери

Значення σ_y і σ_z пов'язані з коефіцієнтами дифузії або коефіцієнтами масової дифузії газу через інше нерухоме середовище в напрямку осей y і z . З фізичного характеру проблеми дифузії випливає, що горизонтальне і вертикальне стандартні відхилення є функціями положення точки x та y напрямку вітру від джерела, а також функціями умов стійкості атмосфери. Для оцінки величин σ_y і σ_z та визначення їхнього взаємозв'язку проведені численні експериментальні дослідження в атмосфері. Один із найбільш широко поширених наборів діаграм наведено на рисунках 5.4 і 5.5. Ці діаграми отримані з урахуванням таких обмежень:

- концентрації, одержувані з цих діаграм, відповідають часу відбору проб близько 10 хвилин;
- горизонтальне та вертикальне стандартні відхилення відповідають земній поверхні для відкритої сільської місцевості;
- оцінювані концентрації найбільш близькі до реальних величин лише в межах кількох сотень метрів від поверхні землі.

При цьому значення σ_z менш достовірні, ніж значення σ_y , що зазначено штриховими лініями на діаграмі « σ_z-X ». Це особливо справедливо для відстаней більше 1 км у напрямку вітру.

Для наближеного визначення стійкості використовують способи, засновані на наземних спостереженнях, такі як способи Паскуїла та Тернера. Спосіб Тернера порівняно з класами стійкості за Паскуїлом характеризується більш детальним урахуванням термічних факторів і станів, що класифікуються як стійкі, і введення в розгляд ситуацій, що кваліфікуються як дуже стійкі.

Характеристика класів стійкості атмосфери за Тернером:

- 1 – дуже нестійка;
- 2 – помірно нестійка;
- 3 – слабо нестійка;
- 4 – байдужа;
- 5 – слабко стійка;
- 6 – помірно стійка;
- 7 – дуже стійка.

Якісне співвідношення між класами Тернера і Паскуїла наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Співвідношення між класами Тернера та Паскуїла

Тернер	1	2	3	4	5	6	7
Паскуїл	A	B	C	D	E	E	F

Наведені нижче пункти відповідають класам, наведеним у таблиці 5.1:

- 1 – ясне небо висота сонця над горизонтом більше 60° , типовий сонячний день після полудня, дуже конвективна атмосфера;
- 2 – літній день зі слабкою розрізненою хмарністю;
- 3 – типовий сонячний літній день після полудня ближче до вечора, літній день з розрізненою низькою хмарністю або літній день з ясным небом і висотою сонця над горизонтом від 15° до 35° .

При дослідженні розсіювання викидів від будь-якого джерела зазвичай вибирають такий клас стійкості, типовий для цього району, що дає найгірші характеристики забруднення атмосфери.

Основою визначення класу стійкості атмосфери за цією методикою є індекс інсоляції n . Зазвичай він визначається за часом доби згідно з таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 – Індекс інсоляції n залежно від часу доби

День		Ніч	
Висота сонця, град	Індекс інсоляції, n	Час після заходу сонця, год	Індекс інсоляції, n
0–15	1	0–2	-1
15–30	2	0–7	-2
30–40	3	більше 7	-3
45–60	4		
більше 60	5		

За наявності додаткової інформації про хмарність, видимість та сніжний покрив вводиться відповідна поправка до індексу інсоляції (табл. 5.3).

За хмарності вночі меншої або рівної чотирьом балам, вдень – меншої або рівної п'яти балам будь-якого ярусу або 6–9 балів верхнього ярусу поправка на хмарність не вводиться.

При повному сніговому покриві після поправки на хмарність вводиться додаткова поправка: 1 замінюється на -1, інші значення зменшуються на 1.

Таблиця 5.3 – Поправка до індексу інсоляції n на хмарність та видимість

Хмарність, бали	Висота хмар, м	Видимість, м	Вихідний індекс інсоляції, n								
			-3	-2	-1	1	2	3	4	5	
			Виправлений індекс інсоляції, n'								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
10	менш 2 000	менш 1 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	менш 2 000	більше 1 000	0	0	0	1	1	1	1	2	
10	більше 2 000	будь-яка	0	0	0	1	1	2	3	4	
6–9	більше 2 000	будь-яка	-1	-1	-1	1	1	1	2	3	
6–9	2 000 – 5 000	будь-яка	-1	-1	-1	1	1	2	3	4	
4–6	2 000 – 5 000	будь-яка	-2	-1	-1	1	2	3	4	5	

Клас стійкості по Тернеру визначається на основі виправленого індексу інсоляції n' і швидкості вітру V на висоті 10 м стандартно за таблицею 5.4.

Таблиця 5.4 – Визначення класу стійкості по Тернеру через швидкість вітру V на висоті 10 м та виправлений індекс інсоляції n'

$V, \text{ м/с}$	n'								
	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–15	1	1	1	2	3	4	6	7	7
1,5–2,0	1	1	2	2	3	4	5	6	7

Продовження таблиці 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,0–2,5	1	1	2	2	3	4	5	6	6
2,5–3,0	1	2	2	3	3	4	5	6	6
3,0–4,5	1	2	2	3	4	4	4	5	6
4,5–5,5	2	2	3	3	4	4	4	5	5
5,5–6,5	2	3	3	3	4	4	4	4	5
6,5–7,5	2	3	3	4	4	4	4	4	5
більше 7,5	3	4	4	4	4	4	4	4	4

Бал хмарності – ступінь закриття хмарами небосхилу в десятих частках. Хмарність 10 балів – суцільна хмарність, 6–9 балів – більше половини небосхилу вкрито хмарами, 4–6 балів – близько половини.

5.3.2 Визначення максимуму приземної концентрації і його положення

Ефект відбиття від землі призводить до зростання приземних концентрацій газоподібних забруднювачів зі збільшенням відстані X порівняно з тим, що можна було б очікувати без урахування відбиття. Однак таке зростання зі збільшенням відстані не може тривати безперервно. Зрештою дифузія в напрямках, перпендикулярних до напрямку вітру, вздовж осей Y і Z , зменшить концентрацію на рівні землі ($z = 0$) і вздовж центральної лінії ($y = 0$).

Таким чином, крива залежності C від x проходить через максимум, а потім починає зменшуватися, прагнучи нульового значення за великих значень x .

Один із методів визначення положення та величини максимуму концентрації заснований на використанні характеристик σ_y та σ_z . За помірної нестійкості, що близька до байдужих умов, відношення σ_y/σ_z майже не залежить від відстані x . Якщо це ставлення прийняти постійним і покласти $y = 0$, то рівняння 5.2

$$C(x, y, 0, H) = \frac{M}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (5.2)$$

може бути записано так, що C буде функцією тільки σ_z , (яке також залежить тільки від x та класу стійкості атмосфери) – рівняння 5.3:

$$C(x, y, 0, H) \approx \sigma_z \frac{M}{\pi K} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (5.3)$$

У цьому випадку, використовуючи відомий з диференціального обчислення метод максимізації, можна отримати аналітичний вираз, що визначає максимальну концентрацію вздовж центральної лінії та з достатньою точністю визначити положення максимуму концентрації.

Результат диференціювання рівняння 5.3 у його модифікованій формі призводить до такого виразу:

$$\sigma_z = \frac{H}{2^{\frac{1}{2}}} = 0,707H \quad (5.4)$$

Таким чином, маючи висоту труби H , можна визначити значення σ_z . Потім з діаграми залежності $\sigma_z = f(x)$ з урахуванням умов стійкості атмосфери можна отримати значення x , яке дає положення максимуму C .

Величина x визначається таким методом лише наближено, відображаючи неточність побудови діаграми $\sigma_z = f(x)$.

Якщо умова $H^2 = 2\sigma^2 z$ (отримано з рівняння 5.4) підставити в рівняння 5.2 і покласти $y = 0$, то максимальна приземна концентрація на центральній лінії у напрямку вітру буде приблизно рівна:

$$C_{\text{max,отр}} = \frac{0,1171M}{u\sigma_y\sigma_z}.$$

Цей вираз дає найкращі результати за умов *нестійкої атмосфери*.

5.3.3 Розсіювання в атмосфері аерозолів

Кількість аерозольних речовин, що може бути викинута в довкілля, обмежується величиною гранично допустимого викиду. Для досягнення нормативного допустимого викиду зазвичай необхідно використовувати ефективні системи обмеження рівня емісії. Але навіть при використанні ефективних систем газоочищення значна частина загальної кількості викидів потрапляє в атмосферу з газами, що відходять. На підприємствах, де немає систем очищення, кількість викидів забруднювальних речовин може бути особливо великою. Для виконання нормативів викидів необхідний прогноз інтенсивності випадання аерозолів на поверхню, що підстилає, на різних відстанях від джерела.

Існує кілька способів прогнозування інтенсивності випадання частинок, що викидаються димовими трубами. Найбільш зручними є модифікація рівняння Саттона, застосованого для газової емісії з димових труб:

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

Цей метод передбачає розподіл забруднювальної речовини по осях Y і Z гаусового типу. Масові коефіцієнти дифузії у напрямі цих двох координат виражаються через стандартні відхилення σ_y та σ_z , які також є функціями координат у просторі та характеру атмосферної стійкості.

Вираз для розсіювання газів від труби з еквівалентною висотою H , без урахування ефектів відбиття (рис. 5.6), може бути записаний у вигляді:

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

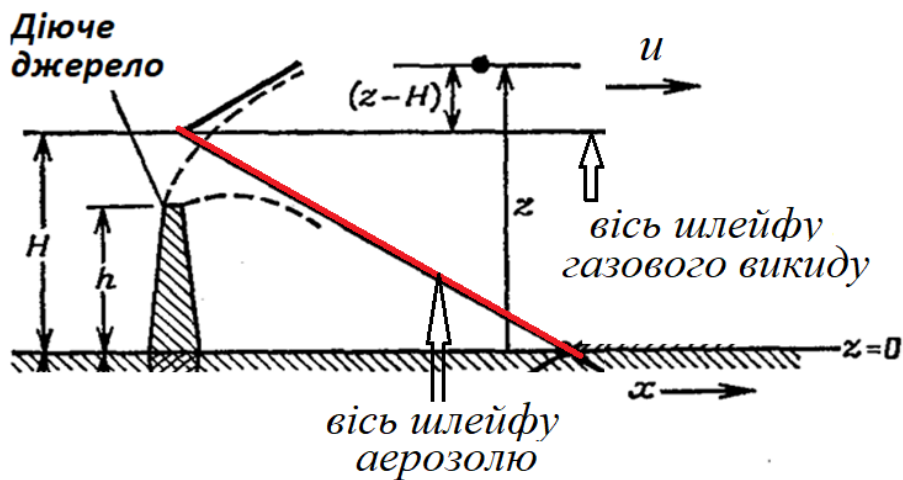


Рисунок 5.6 – Схема струменя без урахування відображення від поверхні землі

Термін «без урахування ефектів відображення» означає, що у разі викиду частинок поверхня землі діє як їхній поглинач. У разі викиду газів підстилаюча поверхня здебільшого є відбиваючою, і це відображення збільшує газофазну концентрацію забруднювача в атмосфері (рис. 5.3).

Крім поправки на «невідбивність» у рівняння гаусового типу розсіювання необхідно внести ще одну дуже важливу зміну. Газоподібні забруднювачі не схильні до дії сили тяжіння, у той час як рух твердих частинок сильно залежить

як від дії сили тяжіння, так і від дії середовища носія, пов'язаного з переміщенням повітряних мас. Отже, рівняння розсіювання має враховувати дію цих сил.

Дія сили тяжіння на розсіювання частинок проявляється в тому, що осьова лінія викиду в міру перенесення забруднювача за вітром відхиляється вниз. Порівняно з абсолютно горизонтальною віссю шлейфу газоподібної емісії шлейф аерозольної речовини має нахил донизу (рис. 5.6).

Внаслідок дії сили тяжіння величина H у гаусовому рівнянні розсіювання має бути скоригована щодо постійного осідання частинок.

Довжина вільного падіння після вильоту частинки з труби дорівнюватиме $(V_t \times t)$ – добутку швидкості осідання (витання) частинки V_t і часу t , за який основний потік забруднювача досягає відстані x за напрямком вітру. Цей же час t визначається як $t = x / u$ (u – швидкість вітру).

Отже, довжина вільного падіння, на яку має бути скоригована величина H , становить $V_t \times (x / u)$. Це еквівалентно зниженню осьової лінії гаусового розподілу по осі Z на величину $V_t \times (x / u)$. Таким чином, з урахуванням впливу сили тяжіння, зміну концентрації частинок можна описати в загальному вигляді таким рівнянням:

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) * \exp\left(-\frac{[z - (H - V_t x/u)]^2}{2\sigma_z^2}\right).$$

Формула розрахунку приземної концентрації в точці, що лежить на осьовій лінії розсіювання (для умов $y = 0$ та $z = 0$), має такий вигляд:

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{[(H - V_t x/u)]^2}{2\sigma_z^2}\right), \quad (5.5)$$

де M – інтенсивність викиду частинок, $г/с$.

Величина M відноситься до одного розміру частинок, що характеризуються швидкістю осідання (витання) V_t . Швидкість витання визначають за діаграмою (рис. 5.7), або розраховують за формулою:

$$V_t = \frac{d_p^2 g \rho_p}{18 \mu_g},$$

де d_p – діаметр частинок, $м$;

g – прискорення вільного падіння, $м/с^2$;

ρ_p – щільність частинок, $кг/м^3$;

μ_g – в'язкість повітря, $Па \cdot с$.

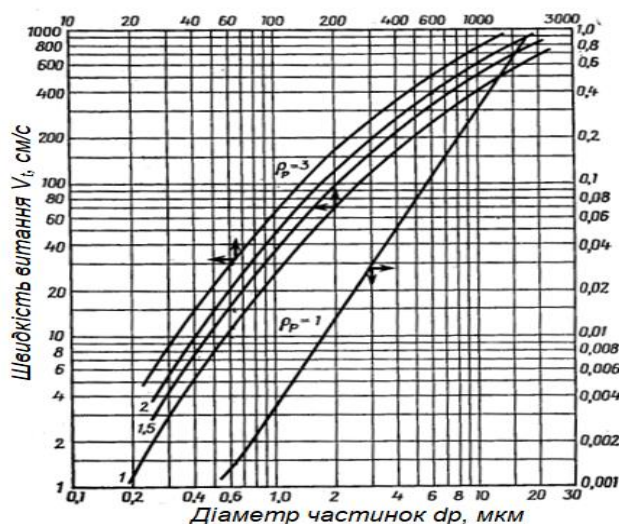


Рисунок 5.7 – Залежність швидкості витання частинок від діаметра

Поряд з оцінкою концентрації частинок C у цій точці важливо визначити результат розсіювання частинок у вигляді маси, що випадає в одиницю часу на одиницю площі – w (інтенсивність випадання частинок) – за такою схемою:

$$W = \frac{\text{масова швидкість перенесення}}{\text{площа}} = \frac{(\text{об'ємна швидкість}) \times (\text{концентрація})}{\text{площа}} =$$

$$= (\text{лінійна швидкість}) \times (\text{концентрація}) = V_t \times C$$

Інтенсивність випадання частинок на поверхню, що підстилає, вздовж осьової лінії шлейфу визначається рівнянням:

$$w = \frac{MV_t}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{(H - V_t x/u)^2}{2\sigma_z^2}\right] \text{ г/м}^2 \text{ с,} \quad (5.6)$$

де M – масовий викид аерозолю, г/с;

V_t – швидкість витання частинок, м/с;

U – швидкість вітру, м/с;

σ_y, σ_z – коефіцієнти дифузії по осі Y і осі Z відповідно, м.

Оскільки в рівнянні використовується швидкість осідання V_t , тому величина w є інтенсивністю випадання частинок конкретної щільності та середнього діаметра. Для визначення загальної інтенсивності випадіння повинні бути оцінені вагові вклади фракцій частинок різних розмірів у загальну інтенсивність викиду.

Виведене рівняння розсіювання передбачає, що всі частинки зі швидкістю осідання V_t випадають до певної відстані за вітром. Ця відстань визначається часом, необхідним для осідання частки з ефективною висоти H . Цей час дорівнює

H/V_t і також має дорівнювати X_{max}/u , де X_{max} – максимальна відстань за вітром, на яку може бути перенесена частка з характерною швидкістю осідання V_t .

Відстань X_{max} , еквівалентна такому видаленню за вітром, де осьова лінія «низхідного» шлейфу досягає земної поверхні. Звідси випливає, що рівняння 5.5 і 5.6 не мають фізичного сенсу для відстаней, що перевищують значення $X = H \times (u / V_t)$ (отримано з $X / u = H / V_t$).

Інший підхід до оцінки випадінь пилу від труб було запропоновано за результатами дослідження роботи електростанцій в Англії. При цьому інтенсивність випадінь уздовж осі шлейфу визначається таким рівнянням:

$$w = \frac{16,4M}{H^2} F\left(\frac{V_t}{u}, \frac{x}{H^2}\right), \quad (5.7)$$

де w – інтенсивність випадання частинок, мг/(м² год).

Значення функції F знаходять із графіків (рис. 5.8), де абсцисою слугує безрозмірний параметр x/H , водночас функція розрахована для різних значень безрозмірного параметра V_t/u .

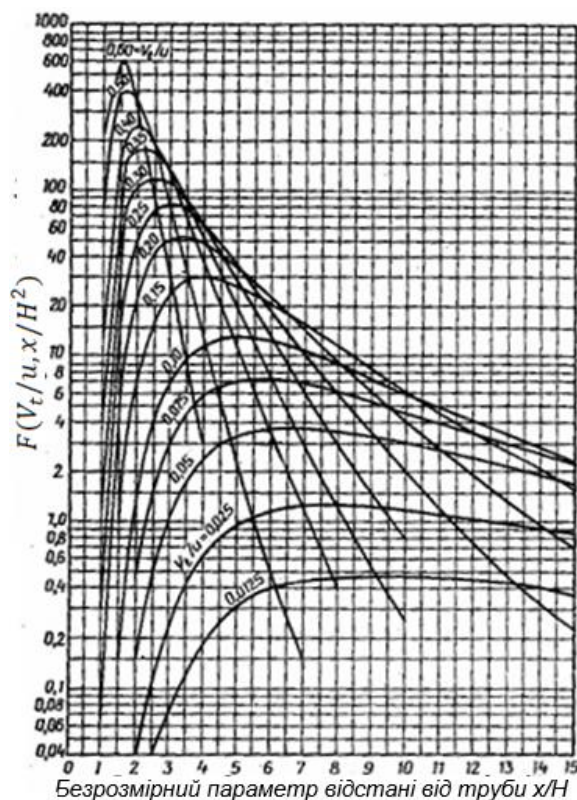


Рисунок 5.8 – Залежність функції $F\left(\frac{V_t}{u}, \frac{x}{H^2}\right)$ від параметра x/H

Якщо з труби з еквівалентною висотою H в полі вітру з відомою швидкістю u викидаються частинки однакового розміру, то рівняння (5.7) дозволяє розрахувати інтенсивність випадінь уздовж осьової лінії.

Однак більш поширений випадок, коли аерозольна речовина складається з часток у широкому діапазоні розмірів (частки мають полідисперсний, фракційний склад) – аерозольна речовина складається з часток у широкому діапазоні розмірів, аж до кількох сотень мікрометрів.

У цьому випадку для вирішення рівняння (5.7) оцінюється середнє значення функції F . Це здійснюється шляхом поділу всього діапазону розмірів на окремі фракції. Для розрахунків необхідно знати вагову частку частинок кожної фракції, що може бути визначено будь-яким стандартним методом. Потім необхідно визначити величину F ; для кожної фракції при вибраних значеннях u , x і H . Далі необхідна середня величина F може бути знайдена як сума добутку F ; на ваговий внесок кожної фракції.

6 ФОНОВІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

Фонова концентрація C_{ϕ} (мг/м³) характеризує сумарну концентрацію, створювану всіма джерелами, розташованими на певній території, та встановлюється для кожної речовини за даними спостережень.

C_{ϕ} – статистично достовірною максимальною концентрацією та визначається як значення концентрації, що перевищується не більше ніж у 5 % випадків від загальної кількості спостережень. За відсутності необхідних даних спостережень фонову концентрацію можна визначити розрахунковим шляхом.

Порядок визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі встановлено Наказом № 286 Міністерства екології та природних ресурсів України [5].

Величина фонові концентрації, визначена за даними фактичних спостережень, це статистично достовірною максимальною разовою концентрацією (середня за 20 хвилин); визначена розрахунковим шляхом – значення, що обчислюється множенням максимальної розрахункової концентрації C на коефіцієнт 0,4.

6.1 Період визначення C_{ϕ} . Обробка даних результатів спостережень

Визначення C_{ϕ} для кожного поста спостережень проводять за даними за період від 3 до 5 років (не менше 3-х років). Обраний період повинен відповідати таким умовам:

- кількість спостережень протягом року має бути не менше 200 по кожній речовині, а загальна кількість спостережень за вибраний період – не менше 800;
- методики відбору та аналізу проб мають бути незмінними;
- розташування посту спостережень не змінювалося;
- характер забудови у районі поста спостереження суттєво не змінювався;
- суттєвих змін у характеристиках промислових викидів у радіусі 5 км від поста спостереження не відбувалося.

Для визначення фонових концентрацій можуть бути використані дані як стаціонарних, так і підфакельних постів спостережень.

У результаті обробки даних для кожного посту по всьому масиву результатів спостережень знаходять величини фонові концентрації $C_{\phi i}$ (де $i = 0; 1; 2; 3; 4$). Концентрації $C_{\phi i}$ відповідають різним градаціям напрямку α та швидкості вітру W (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Градації i у напрямку та швидкості вітру

Значення i залежно від швидкості W та напрямку вітру α						
α	Румби	Будь-який	С	В	Ю	З
		Десятки градусів	Будь-які	32÷4	5÷13	14÷22
	$W, \text{ м/с}$	0÷2	3÷ W^*			
	i	0	1	2	3	4

Верхня межа швидкості вітру W^* визначається за умови, що швидкість вітру в цьому місці $W > W^*$ зустрічається у 5 % випадків.

Під час визначення $C_{\phi i}$ для кожної з п'яти градацій швидкості та напрямки вітру значення концентрацій q_k (k – номер концентрації в i -ї градації) вписуються в таблицю, після чого визначається кількість спостережень у кожній градації n_i , яка для подальшої обробки має бути не менше 100.

Якщо $n_i < 100$, то значення $C_{\phi i}$ вважається орієнтовним.

Дані підфакельних спостережень групуються за зонами, що відповідають відстаням від джерела викидів.

Кількість спостережень у кожній зоні має бути не менше 200. Дані для кожної зони поділяються на дві градації за швидкістю вітру: $i = 0$ відповідає швидкості вітру від 0 м/с до 2 м/с; $i = 1$ відповідає швидкості вітру 3- W^* м/с.

Надається перевага C_{fi} , отриманим за підфакельними вимірами, для тих ділянок міста, де їхні величини більші, ніж C_{ϕ} , розраховані за даними спостережень на стаціонарних постах.

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 0–2 м/с – за будь-якого напрямку, швидкість 3 м/с і більше – при північному, східному, південному і західному напрямках.

6.2 Визначення фонових концентрацій за даними постів спостереження

Фонова концентрація C_{ϕ} , за даними постів спостереження може визначатися одним із статистичних розрахункових методів чи графічно.

6.2.1 Розрахунковий метод

Під час визначення C_{ϕ} розрахунковим методом для кожної градації i спочатку розраховують середнє значення концентрації \bar{q}_i за формулою:

$$\bar{q}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} q_k$$

де $\sum_{k=1}^{n_i} q_k$ – сума всіх значень концентрацій, що потрапили в градацію i , мг/м³;

n_i – кількість концентрацій у градації;

q_k – значення кожної концентрації у градації, мг/м³.

Для кожної градації i розраховують S_i (мг/м³) – середнє квадратичне відхилення концентрації та коефіцієнт варіації V_i за формулами:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n_i} (q_k - \bar{q}_i)^2}{n_i - 1}}; \quad V_i = \frac{S_i}{\bar{q}_i}.$$

Величину C_ϕ розраховують за формулою:

$$C_{\phi i} = \bar{q}_i F_1(V_i),$$

де $F_1(V_i)$ – значення функції, розраховують за формулою:

$$F_1(V_i) = \frac{1}{1 - V_i^2} \exp\left(1,645 \times \sqrt{\ln(1 + V_i^2)}\right).$$

Для практичних розрахунків значення функції $F_1(V_i)$ може бути визначено за графіком (рис. 6.1):

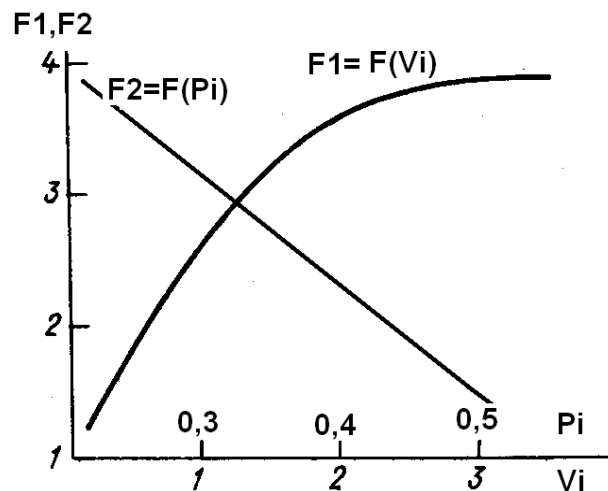


Рисунок 6.1 – Графік для визначення F_1 і F_2

Існують спрощені методи визначення C_ϕ :

а) для кожної i -ї градації з кількістю спостережень n_i визначається кількість спостережень m_i , в яких значення концентрації q_k перевищувало середню концентрацію \bar{q}_i у цій градації, і розраховують повторюваність P_i випадків перевищення середнього значення концентрації за формулою:

$$P_i = \frac{m_i}{n_i}.$$

Фонову концентрацію в градації визначають за формулою:

$$C_{\phi i} = \bar{q}_i F_2(P_i),$$

де $F_2(P_i)$ – значення функції, отримане з графіка на рисунку 6.1;
б) метод «розмаху».

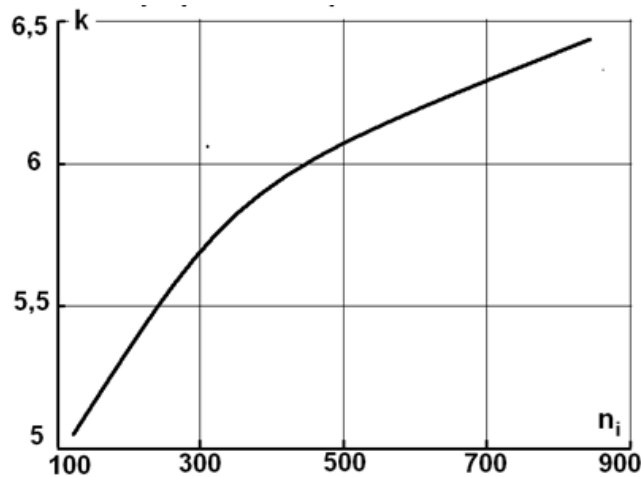


Рисунок 6.2 – Графік для визначення параметра k

Середньоквадратичне відхилення розраховують за наближеною формулою:

$$S_i = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{k},$$

де q_{\max} , q_{\min} – максимальна та мінімальна концентрація у градації;

k – коефіцієнт, що залежить від кількості спостережень, визначається з графіка на рисунку 6.2.

6.2.2 Графічний метод

Графічний метод визначення фонової концентрації полягає в такому:

- концентрації шкідливої домішки для кожної градації i наносяться на графік залежності «концентрація (q) – швидкість вітру (W)» (рис. 6.3);
- визначається кількість значень концентрації домішки n_i , що відноситься до цієї градації i ;
- будується плавна лінія, що обгинає, вище якої може перебувати 5 % від загальної кількості точок n_i ;

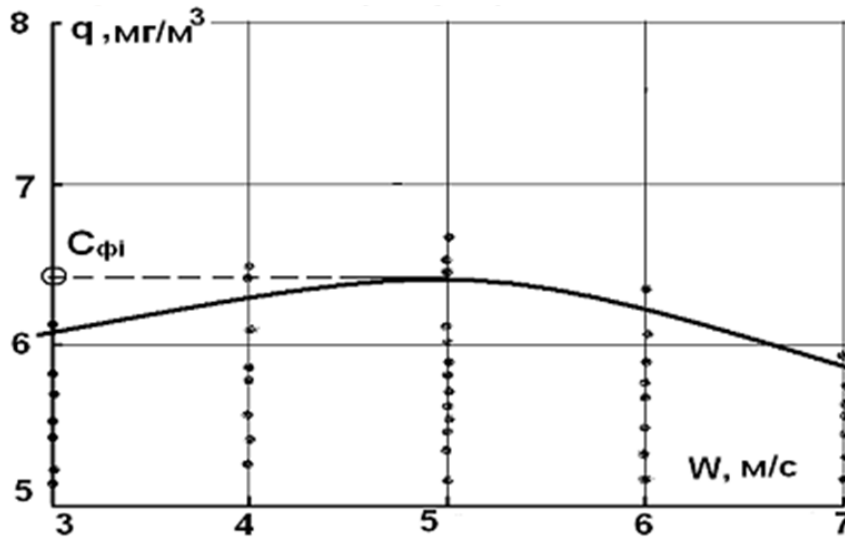


Рисунок 6.3 – Графік для визначення фонові концентрації

З побудованою огинаючою знімається максимальне значення, яке приймається як фонові концентрація шкідливої домішки для цієї градації – $C_{\phi i}$ (рис. 6.3).

6.3 Формат завдання фону за постом спостереження. Виняток вкладу підприємства з фону

Фонові концентрація для забруднювальної речовини в атмосферному повітрі за постом спостереження може бути задана одним, двома та п'ятьма значеннями. Формат завдання фону визначається за результатами оцінки значущості відмінностей величин фону в градаціях.

Для проведення оцінки значущості відмінностей фонові концентрації для різних градацій розраховуються значення фонові концентрації \bar{C} і \tilde{C} за формулами:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=0}^4 C_{\phi i} n_i}{\sum_{i=0}^4 n_i}; \quad \tilde{C} = \frac{\sum_{i=0}^4 C_{\phi i} n_i}{\sum_{i=0}^4 n_i},$$

де \bar{C} – середнє значення концентрації за п'ятьма градаціями;

\tilde{C} – середнє значення концентрації за чотирма градаціями (без градації $i = 0$ для швидкості вітру 0–2 м/с);

$\sum_{i=1}^5 C_{\phi i} n_i$ – сума п'яти добутків $C_{\phi i}$ для кожної градації на кількість вимірів

у цій градації n_i ;

$\sum_{i=1}^4 C_{\phi i} n_i$

– сума чотирьох добутків $C_{\phi i}$ для кожної градації на кількість вимірів у цій градації n_i .

Якщо максимальне та мінімальне значення $C_{\phi i}$ при $i = 0; 1; 2; 3; 4$ задовольняють нерівності:

$$|C_{\phi i} - \bar{C}| \leq 0,25\bar{C}, \quad (6.1)$$

для такого посту як фоновая концентрація приймається значення \bar{C} незалежно від напрямку і швидкості вітру.

Якщо умова (формула 6.1) не виконується, але мінімальне та максимальне значення $C_{\phi i}$ за $i = 1; 2; 3; 4$ задовольняють нерівності:

$$|C_{\phi i} - \tilde{C}| \leq 0,25\tilde{C}, \quad (6.2)$$

то для цього посту приймаються два значення фону:

- для градації $i = 0$ швидкості вітру 0–2 м/с;
- для градацій $i = 1; 2; 3; 4$ швидкості вітру 3-W* м/с – значення \tilde{C} .

Коли умови (6.1) і (6.2) не виконуються, фоновая концентрація за постом спостереження задається п'ятьма значеннями для градацій $i = 0; 1; 2; 3; 4$.

Для врахування сумарної шкідливої дії кількох забруднювальних речовин допускається визначення єдиної величини фону за цими речовинами. Водночас для кожного поста спостереження і моменту часу концентрація n речовин приводиться до концентрації найпоширенішої з них речовини.

Наприклад, при сумарній шкідливості SO_2 і NO_2 єдиний фон розраховують за формулою:

$$q_{SO_2+NO_2} = q_{SO_2} + q_{NO_2} \frac{ПДК_{SO_2,м.р.}}{ПДК_{NO_2,м.р.}}, \text{ мг/м}^3 \quad (6.3)$$

Подальша обробка результатів проводиться так само, як і у випадку однієї речовини.

Під час проєктування промислових підприємств та встановлення ГДВ дані про розподіл фонові концентрації по території населеного пункту подаються у табличній формі.

В окремих випадках можна обмежитися середнім значенням по місту \bar{C}_ϕ . Для цього обчислюється середнє значення по місту для кожної градації швидкості та напрямку вітру – $\bar{C}_{\phi i}$. Для тих постів, для яких у розглянутій градації $C_{\phi i}$ відрізняється від середнього по місту менш ніж на 25 %, воно замінюється на середню по місту величину.

Під час устанoвлення ГДВ для реконструйованих або діючих підприємств виключення із C_ϕ внеску підприємства, що розглядається, здійснюють за формулами:

$$C'_\phi = C_\phi \left(1 - 0,4 \frac{C}{C_\phi} \right) \quad \text{при } C \leq 2C_\phi;$$

$$C'_\phi = 0,2C_\phi \quad \text{при } C > 2C_\phi,$$

де C'_ϕ – фoнова концентрація без урахування вкладу підприємства, що розглядається;

C – максимальна концентрація, що створюється підприємством у місці розміщення поста спостереження.

6.4 Визначення фонових концентрацій розрахунковим методом

Під час визначення фoвoвого забруднення пріоритет надається значенням фoвoвих концентрацій, які отримані за даними спостережень гідрометеорологічних організацій Державної служби надзвичайних ситуацій – ДСНС.

Гідрометеорологічні організації ДСНС, які проводять спостереження за станом забруднення атмосферного повітря на стаціонарних постах України, розташовані у 39 містах. Загальна кількість стаціонарних постів спостереження становить 129.

У тому випадку, коли пости спостереження відсутні, або кількість постів спостережень недостатня для оцінки забруднення атмосферного повітря на території, яка розглядається, використовуються концентрації, отримані розрахунковим шляхом.

Таке визначення величин фoвoвих концентрацій складається з проведення розрахунків сумарного поля концентрацій від джерел викидів забруднювальної

речовини на ЕОМ відповідно до вимог ОНД-86 [2; 4]. C_f визначається множенням максимальної розрахункової концентрації на коефіцієнт 0,4.

Розрахунковому визначенню величин фонових концентрацій повинен передувати контроль достовірності (повноти) вихідних даних щодо параметрів викиду забруднювальної речовини в атмосферне повітря.

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 (табл. 6.2) [5].

Таблиця 6.2 – Величини фонових концентрацій для основних загальнопоширених забруднювальних речовин

Населення (тис. ос.)	Забруднювальні речовини							
	Пил		Діоксид азоту		Оксид вуглецю		Діоксид сірки	
	мг/м ³	у долях ГДК _{мр}	мг/м ³	у долях ГДК _{мр}	мг/м ³	у долях ГДК _{мр}	мг/м ³	у долях ГДК _{мр}
125–250	0,20	0,40	0,070	0,35	1,50	0,30	0,10	0,20
50–125	0,10	0,20	0,034	0,17	0,80	0,16	0,05	0,10
<50	0,05	0,10	0,018	0,09	0,40	0,08	0,02	0,04

Для інших забруднювальних речовин (за неможливості визначення величин фонових концентрацій розрахунковим способом) допускається обчислювати їхнє значення множенням коефіцієнта 0,4 на величину максимальної разової гранично допустимої концентрації відповідної речовини.

Для отримання фонових концентрацій підприємство подає запит у гідрометеорологічну організацію ДСНС, де вказується така інформація:

- назва і адреса підприємства, відомча належність, характеристика розташування проммайданчика підприємства на карті-схемі міста в радіусі до 50 висот найбільш високого джерела забруднення, але не менше ніж 2 км;
- статус підприємства: будується, реконструюється, підлягає технічному переобладнанню або діюче;
- перелік речовин, які викидаються підприємством.

Величини фонових концентрацій забруднювальних речовин видаються підприємствам за встановленими формами у вигляді таблиці.

7 НОРМУВАННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ

Нормування у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою встановлення комплексу обов'язкових норм, правил, вимог щодо охорони атмосферного повітря від забруднення (відповідно до ст. 31 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» та ст. 4 Закону України «Про охорону атмосферного повітря») [6; 7].

Нормування викидів забруднювальних речовин в атмосферу проводять для кожного діючого підприємства, що має стаціонарні джерела забруднення атмосфери.

Мета нормування викидів:

- забезпечення дотримання критеріїв якості атмосферного повітря, що регламентують гранично допустимий вміст у ньому шкідливих (забруднювальних) речовин для здоров'я населення;
- неперевищення показників гранично допустимих (критичних) навантажень на екологічну систему й інших екологічних нормативів.

Правові й організаційні основи та екологічні вимоги в галузі охорони атмосферного повітря передбачені такими нормативами [6]:

– *нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря* – група нормативів, дотримання яких запобігає виникненню небезпеки для здоров'я людини та стану навколишнього природного середовища від впливу шкідливих чинників атмосферного повітря;

– *норматив гранично допустимого викиду забруднювальної речовини стаціонарного джерела* – гранично допустимий викид забруднювальної речовини або суміші цих речовин в атмосферне повітря від стаціонарного джерела викиду;

– *технологічний норматив допустимого викиду забруднювальної речовини* – гранично допустимий викид забруднювальної речовини або суміші цих речовин, який визначається у місці його виходу з устаткування;

– *нормативи гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел*;

– *норматив вмісту забруднювальної речовини у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувного джерела* – гранично допустима кількість забруднювальної речовини у відпрацьованих газах пересувного джерела, що відводиться в атмосферне повітря.

Для кожного проєктованого та діючого об'єкта, що є стаціонарним джерелом забруднення повітряного басейну, встановлюють нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ) – *Дозвіл на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря забруднювальних речовин в атмосферне повітря* (дозвіл на викид).

ГДВ встановлюють за умови, що викиди шкідливих речовин від джерел відповідають умовам [8–11], та разом з іншими джерелами не створюють приземну концентрацію, що перевищує ПДК на межі та за межами санітарно-захисної зони:

$$C + C_{\phi} \leq ПДК,$$

де C – концентрація речовини у приземному шарі від розрахункового джерела;

C_{ϕ} – фонова концентрація цієї ж речовини.

Якщо на підприємстві (групі підприємств), що розташовані в одному районі, значення ГДВ з об'єктивних причин не можуть бути негайно досягнуті, встановлюють тимчасово узгоджений викид – ТУВ. Норматив ТУВ встановлюють на період розробки та реалізації повітроохоронних заходів, що забезпечують досягнення нормативів ГДВ.

Дозвіл на викиди видається суб'єкту господарювання після отримання висновку з оцінки впливу на довкілля, у якому визначено допустимість провадження планованої діяльності, яка відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» визначає екологічні умови її провадження [12].

Для кожного підприємства *дозвіл на викид* розробляється з урахуванням фонового складу атмосферного повітря населеного пункту, відповідно до яких індивідуальні дозволи на викид підприємств можуть бути переглянуті у бік зменшення.

Дотримання встановлених нормативів якості атмосферного повітря забезпечує сприятливу екологічну обстановку в цьому районі відповідно до вимог Закону України про охорону атмосферного повітря.

Розробка нормативів ГДВ провадиться для всіх підприємств, що мають викиди в атмосферу. *Дозволи на викид* є основою вибору заходів щодо захисту атмосфери.

Розрахунки нормативів ГДВ виконуються на обчислювальній техніці за спеціальними комп'ютерними програмами, затвердженими Міністерством екології та природних ресурсів України [3]. ГДВ встановлюється для умов повного навантаження технологічного та газоочисного обладнання та їхньої нормальної роботи. ГДВ не повинен перевищуватись у будь-який 20-хвилинний період часу.

Поряд із максимальним разовим значенням ГДВ у г/с встановлюються річні значення ГДВ у т/рік для окремих джерел та підприємства загалом.

7.1 Вихідні дані для розробки нормативів, інвентаризація джерел викидів

Вихідними даними для розробки природоохоронної документації підприємства є матеріали звіту проведення інвентаризації викидів забруднювальних речовин на підприємстві [12; 15].

Інвентаризацію викидів забруднювальних речовин обов'язково виконують всі підприємства, які мають викиди забруднювальних речовин в атмосферу, незалежно від відомчого підпорядкування і форм власності.

Матеріали інвентаризації використовуються для:

- розробки нормативів утворення забруднювальних речовин, які відводяться у атмосферне повітря під час експлуатації технологічного та іншого обладнання, споруд та об'єктів;
- розробки нормативів гранично допустимих викидів;
- регулювання викидів забруднювальних речовин в атмосферу;
- здійснення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря;
- розробки короткострокових і довгострокових планів заходів підприємств;
- розробки екологічних програм із зниження викидів забруднювальних речовин в атмосферу.

При інвентаризації викидів забруднювальних речовин використовуються матеріали:

- прямих методів вимірів, які ґрунтуються на проведенні безпосередніх інструментальних вимірів;
- розрахункових методів;
- матеріали технологічного регламенту та проєктних показників.

У необхідних випадках для розрахунку кількісних характеристик викидів повинні застосовуватись галузеві методики, затверджені органами Мінприроди.

Інвентаризацію викидів забруднювальних речовин в атмосферу на підприємстві виконують спеціалізовані організації, відповідні підрозділи підприємств, які мають певний досвід роботи, технічне обладнання і знаходяться на обліку в Мінекобезпеки України.

7.1.1 Зміст інвентаризації викидів забруднювальних речовин в атмосферу на підприємстві

Звіт по інвентаризації викидів забруднювальних речовин на підприємстві повинен мати такі розділи:

7.1.1.1 Відомості про підприємство

До них входить:

- повна і коротка назва підприємства;
- поштовий індекс, адреса;
- міністерство чи відомство, якому підпорядковане підприємство;
- вид економічної діяльності відповідно до класифікатора;
- дані про наявність на підприємстві служби з охорони атмосферного повітря, лабораторії по контролю стану навколишнього природного середовища.

7.1.1.2 Загальна частина

До неї входить:

- мета і завдання виконання інвентаризації викидів;
- перелік договорів, на підставі яких виконуються роботи;
- назва організації, яка виконувала роботи з інвентаризації, її реквізити, копія реєстраційного свідоцтва;
- методики виконання робіт з посиланням на стандарти, нормативи, нормативно-методичну літературу та довідковий матеріал;
- методики, по яких проводились прямі інструментально-лабораторні вимірювання, засоби виміру, їхня похибка;
- методики, які використовуються для визначенні величин викидів розрахунковим методом.

7.1.1.3 Об'ємно-планувальні рішення промплощадки

До них входить:

- графічні матеріали: карта-схема підприємства з нанесеними корпусами і розміщеними в них виробництвами, номер джерела викиду, зокрема відкритих

ділянок зберігання сировини і матеріалів, які можуть бути джерелами викидів забруднювальних речовин в атмосферу, стоянки автомобілів, тощо;

– особливості розміщення підприємства: характер забудови території, що прилягає до промплощадки з указівкою промислових підприємств, що на ній розташовані.

7.1.1.4 Характеристика джерел утворення забруднювальних речовин

Характеристика технології виробництва та технологічного обладнання, опис продукції, яка випускається підприємством, основна сировина, що використовується, її хімічний склад за ДСТУ або аналізу заводської лабораторії (дані мають бути пов'язані з балансовою схемою матеріальних потоків), кількість витраченого основного і резервного палива, його якісні характеристики. При цьому необхідно враховувати наявність у газах, що відходять, забруднювальних речовин, які утворюються в ході ведення технологічного процесу.

Визначення забруднювальних речовин, їхніх кількісних та якісних характеристик надається в таблиці «Характеристика джерел утворення забруднювальних речовин» (рис. А.1).

Кількісна та якісна характеристики джерел утворення надаються на основі прямих вимірювань забруднювальних речовин, проєктних даних або технологічного регламенту. У випадку відсутності одного з показників (величини, визначеної прямими вимірами, взятої з проєктних матеріалів або техрегламенту) вказується причина неможливості їхнього визначення. Надається характеристика максимальних і мінімальних фактичних концентрацій, які одержані безпосередньо інструментальними вимірами, при веденні технологічного процесу за технологічним обладнанням (агрегатом) на кожному з етапів технологічного процесу і відповідному йому навантаженні, а також проєктне значення концентрацій (мг/м^3) за номінального навантаження обладнання. У випадку зміни проєктних показників вказується значення концентрацій по останньому технологічному регламенту.

7.1.1.5 Характеристика джерел викидів забруднювальних речовин

У розділі надаються параметри джерел викидів, потужність та інші відомості відповідно до таблиці «Характеристика джерел викидів забруднювальних речовин» (рис. А.2).

Визначення забруднювальних речовин, їхніх кількісних та якісних характеристик проводиться на основі прямих вимірювань забруднювальних речовин, проєктних даних (або технологічного регламенту) та розрахункових методів.

Величина викиду, на основі прямих вимірювань, визначається на номінальному навантаженні технологічного обладнання на різних етапах технологічного процесу, які істотно відрізняються величинами викиду. При цьому за максимальну фактичну величину викиду приймається найбільший викид, що визначений під час обстеження технологічного процесу.

Проєктна величина викиду береться з технологічних регламентів, що входять у проєктні матеріали на будівництво, реконструкцію, техпереобладнання тощо, а у випадку модернізації техпроцесу, у ході їхньої експлуатації, за матеріалами останнього затвердженого техрегламенту.

Величина викиду розрахунковим методом визначається згідно з методиками, погодженими з Мінприроди України.

Показники, передбачені таблицею, які виконані прямими вимірами, розрахунковими методами чи взяті з проєкту (або з техрегламенту), є обов'язковими. Водночас у випадку відсутності одного з показників вказується причина неможливості його визначення. Одержані показники аналізуються і за визначену величину приймається показник, який найбільше відображає викиди від діючого технологічного обладнання за нормальних умов його експлуатації.

У розділі також подається інформація про викиди забруднювальних речовин від пересувних джерел (враховуються викиди забруднювальних речовин, які утворюються від пересувних джерел в межах промплощадки, від внутрішнього заводського транспорту, стоянок автомобілів тощо). Розрахунок викидів забруднювальних речовин від пересувних джерел проводиться розрахунковими методами за методиками, погодженими органами Мінприроди України.

Первинні матеріали результатів вимірів і результати, які одержані розрахунковим методом, додаються до звіту з інвентаризації.

7.1.1.6 Характеристика газоочисних установок

У розділі надається характеристика газоочисних установок, їхній технічний стан, ефективність роботи, параметри пилогазоповітряної суміші і інша інформація відповідно до таблиці «Характеристика газоочисних установок» (рис. А.3).

7.1.1.7 Характеристика викидів забруднювальних речовин від основних виробництв

Характеристика викидів забруднювальних речовин в атмосферу від основних виробництв, перелік яких визначається органами Мінекобезпеки України, наводиться в таблиці «Характеристика викидів забруднювальних речовин від основних виробництв» (рис. А.4).

При визначенні річних викидів забруднювальних речовин враховується коефіцієнт корисної дії (ККД) газоочисної установки. У випадку 2–3 ступінчастого очищення ККД вказується в цілому.

7.1.1.8 Висновки та рекомендовані заходи з експлуатації і налагоджування технологічного обладнання та газоочисних установок

У розділі приводиться аналітичний матеріал, який стосується особливостей експлуатації на цьому підприємстві технологічного обладнання і газоочисних установок, використання промислових технологій, їхньої відповідності світовому науково-технічному рівню, а також можливі заходи із зниження викидів забруднювальних речовин в атмосферу.

7.2 Оцінка впливу на довкілля

Оцінка впливу на довкілля виконується відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [12]. Цей Закон встановлює правові та організаційні засади оцінки впливу на довкілля, спрямованої на запобігання шкоді довкіллю, забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, у процесі ухвалення рішень про провадження господарської діяльності, яка може значно впливати на довкілля, з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів.

Оцінці впливу на довкілля підлягає планована діяльність, яка включає реконструкцію, технічне переоснащення, капітальний ремонт, розширення, перепрофілювання об'єктів, інші втручання в природне середовище, які *значно впливають на довкілля* відповідно до критеріїв, затверджених Кабінетом Міністрів України [13].

Усі підприємства та виробництва, для яких оцінка впливу на довкілля є обов'язковою, поділяються на дві категорії відповідно до статті 3 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля»:

- перша категорія;
- друга категорія.

Об'єкти першої групи – це об'єкти, що мають особливе значення для економіки, екології та соціальної сфери країни. До них відносяться, наприклад, об'єкти нафтової та газової галузі, об'єкти з видобутку та переробки металів, добування вугілля, руд та будівельних матеріалів. Такі об'єкти підлягають обов'язковій державній регуляції та контролю, а також проходженню процедури оцінки впливу на довкілля. Список першої категорії включає 22 групи підприємств та виробництв.

Об'єкти другої групи – це об'єкти, що мають менше значення для економіки та соціальної сфери, але можуть мати значний вплив на довкілля чи здоров'я людей. До таких об'єктів відносяться, наприклад, глибоке буріння, кар'єри, піски та глини для будівництва, кам'яне вугілля та інші ресурси, також переробка мінеральної сировини. Під час здійснення діяльності на таких об'єктах необхідно дотримуватися встановлених законодавством вимог щодо охорони навколишнього середовища. Список другої категорії включає 13 груп підприємств та виробництв.

Уповноважений центральний орган – Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів – веде Єдиний реєстр з оцінки впливу на довкілля [14]. Інформація, внесена до Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля, є відкритою, вільний доступ до неї забезпечується через мережу «Інтернет».

Оцінка впливу на довкілля – це процедура, що передбачає:

- підготовку суб'єктом господарювання звіту з оцінки впливу на довкілля;
- проведення громадського обговорення;
- аналіз уповноваженим органом відповідно наданої у звіті з оцінки впливу на довкілля, а також інформації, отриманої від громадськості під час громадського обговорення;
- надання уповноваженим органом мотивованого висновку з оцінки впливу на довкілля;
- врахування висновку з оцінки впливу на довкілля у рішенні про провадження планованої діяльності.

Під час підготовки висновку з оцінки впливу на довкілля уповноважений територіальний орган (обласні, міські державні адміністрації) уповноважений

центральний орган (Мінприроди), що реалізує державну політику у сфері охорони довкілля:

- розглядає та бере до уваги звіт з оцінки впливу на довкілля та звіт про громадське обговорення;

- видає *висновок з оцінки впливу на довкілля*, яким виходячи з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності, визначає допустимість чи обґрунтовує недопустимість провадження планованої діяльності та визначає екологічні умови її провадження.

Висновок з оцінки впливу на довкілля є обов'язковим для виконання. Екологічні умови провадження планованої діяльності є обов'язковими. Висновок з оцінки впливу на довкілля враховується при прийнятті рішення про провадження планованої діяльності та може бути підставою для відмови у видачі рішення про провадження планованої діяльності.

7.2.1 Звіт з оцінки впливу на довкілля

Звіт з оцінки впливу на довкілля містить:

- опис місця та цілі планованої діяльності;
- опис виправданих альтернатив планованої діяльності, основних причин обрання запропонованого варіанта з урахуванням екологічних наслідків;
- опис поточного стану довкілля (базовий сценарій);
- опис факторів довкілля, які ймовірно зазнають впливу з боку планованої діяльності та її альтернативних варіантів (атмосферне повітря входить до факторів довкілля, вплив планованої діяльності на які підлягає оцінці);
- опис і оцінку можливого впливу на довкілля планованої діяльності, зокрема величини та масштабів такого впливу (оцінку впливу підприємства на атмосферне повітря виконують для джерел викидів відповідно до інвентаризації викидів забруднювальних речовин на підприємстві);
- опис методів прогнозування, що використовувалися для оцінки впливів на довкілля;
- опис передбачених заходів, спрямованих на запобігання, відвернення, уникнення, зменшення, усунення значного негативного впливу на довкілля;
- усі зауваження і пропозиції, що надійшли до уповноважених органів, після оприлюднення ними повідомлення про плановану діяльність, а також інформацію про повне врахування отриманих під час громадського обговорення зауважень та пропозицій.

7.3 Дозвіл на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря

Викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами можуть здійснюватися лише після отримання дозволу, що видається суб'єкту господарювання дозвільним органом або через центри надання адміністративних послуг [15; 16].

Дозвіл на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами – це документ дозвільного характеру у сфері охорони атмосферного повітря, який надає право суб'єктам господарювання експлуатувати об'єкти, з яких надходять в атмосферне повітря забруднювальні речовини або їхні суміші.

Розробка документів з обґрунтування обсягів викидів підпадає під сферу державного метрологічного контролю, і може виконуватися лише спеціалізованими організаціями. Такі спеціалізовані організації мають бути зареєстровані в установленому порядку та мати реєстраційне свідоцтво, оформлене відповідно до вимог Наказу № 448 Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [18].

Процедура отримання дозволу на викиди встановлено згідно з документом «Про затвердження Порядку проведення робіт, пов'язаних з видачою дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку суб'єктів господарювання, які отримали такі дозволи» [15].

Видача дозволу на викиди здійснюється в паперовій або електронній формі.

Суб'єкт господарювання отримує дозвіл на викиди до початку експлуатації об'єкта, зокрема до проведення пусконаладжувальних робіт.

Дозвіл на викиди видається суб'єкту господарювання після отримання висновку з оцінки впливу на довкілля, у якому визначено допустимість провадження планованої діяльності.

У разі зміни параметрів стаціонарних джерел (кількості джерел, кількісного та якісного складу забруднювальних речовин, впровадження заходів щодо скорочення викидів) до дозволів вносяться відповідні зміни шляхом отримання нового дозволу на викиди з урахуванням змін на об'єкті.

Для отримання дозволу суб'єкт:

- 1) оформляє заяву;
- 2) проводить інвентаризацію стаціонарних джерел викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря, видів та обсягів викидів

забруднювальних речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, пилогазоочисного обладнання;

3) готує документи, у яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднювальних речовин;

4) проводить оцінку впливу викидів забруднювальних речовин на стан атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони;

5) розробляє плани заходів щодо:

– досягнення встановлених нормативів ГДВ для найбільш поширених та небезпечних забруднювальних речовин;

– охорони атмосферного повітря на випадок виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;

– ліквідації причин та наслідків забруднення атмосферного повітря;

– остаточного припинення діяльності, пов'язаної з викидами забруднювальних речовин в атмосферне повітря, та приведення місця діяльності у задовільний стан;

– запобігання перевищенню встановлених нормативів ГДВ у процесі виробництва;

– здійснення контролю за дотриманням встановлених нормативів ГДВ забруднювальних речовин та умов дозволу на викиди;

б) обґрунтовує розміри нормативних санітарно-захисних зон;

7) проводить оцінку та аналіз витрат, пов'язаних із реалізацією запланованих заходів щодо запобігання забруднення атмосферного повітря;

8) готує інформацію про отримання дозволу на ознайомлення з нею громадськості відповідно до законодавства.

Суб'єкт господарювання для отримання дозволу подає документи в письмовій та електронній формі:

1-ї групи – до Мінприроди;

2-ї та 3-ї групи – у дозвільний центр.

Повідомлення про намір отримати дозвіл міститься в місцевих друкованих засобах масової інформації, із зазначенням адреси місцевої держадміністрації, до якої можуть надсилатися зауваження громадських організацій та окремих громадян.

Місцеві держадміністрації розглядають зауваження громадських організацій, у разі потреби, організують проведення їх публічного обговорення, та протягом 30 календарних днів з дати опублікування інформації про намір суб'єкта господарювання отримати дозвіл, повідомляють про це в орган, який видає дозвіл.

Мінприроди та дозвільні центри передають Держсанепідслужбі, її територіальним органам, відповідно, – заяву та документи на отримання дозволу.

Держсанепідслужба, її територіальні органи протягом 15 календарних днів з дати надходження документів ухвалюють рішення щодо можливості / неможливості видачі дозволу, який надсилається Мінприроди та дозвільним центрам відповідно.

Після цього дозвіл на викиди видається обласними державними адміністраціями (щодо об'єктів 2-ї чи 3-ї групи) та Мінприроди України (щодо об'єктів 1-ї групи) у десятиденний строк.

7.3.1 Об'єкти, для яких розробляються документи з обґрунтування обсягів викидів

Об'єкти, для яких розробляються документи з обґрунтування обсягів викидів, від ступеня впливу об'єкта на забруднення атмосферного повітря, розподіляються відповідно з розділом 2 Інструкції [17] на три групи:

а) перша група – об'єкти, які взяті на державний облік і мають виробництва або технологічне устаткування, на яких повинні впроваджуватися найкращі доступні технології та методи керування;

б) друга група – об'єкти, які взяті на державний облік і не мають виробництв або технологічного устаткування, на яких повинні впроваджуватися найкращі доступні технології та методи керування;

в) третя група – об'єкти, які не входять до першої і другої груп.

Критерії взяття на державний облік об'єктів залежать від видів та обсягів забруднювальних речовин, що викидаються в атмосферне повітря – якщо в їхніх викидах присутня хоча б одна забруднювальна речовина (або група речовин), потенційний викид якої рівний або перевищує величину, зазначену в *Переліку забруднюючих речовин та порогових значень потенційних викидів, за якими здійснюється державний облік*. Цей перелік містить 131 забруднювальну речовину [17].

Перелік виробництв та технологічного устаткування, які підлягають до впровадження найкращих доступних технологій та методів керування, наведено у додатку 3 *Інструкція про загальні вимоги до оформлення документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами* [18].

Строк дії дозволу на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, виданого суб'єкту господарювання, об'єкт якого належить до першої групи, – сім років, об'єкт якого належить до другої групи, – десять років, об'єкт якого належить до третьої групи, – необмежений (статтю 11 Закону «Про охорону атмосферного повітря» доповнено новою частиною) [19].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Экология города / Под ред. Ф. В. Стольберга. – Киев : Либра, 2000. – 464 с. – Есть электрон. версия. (Режим доступа: <http://koha.kname.edu.ua/cgi-bin/koha/orac-ISBDdetail.pl?biblionumber=1559>, свободный).

2. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств, ОНД-86 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1987. – 93 с. – Режим доступа: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/ond86.pdf>, вільний (дата звернення 17.05.2024). – Назва з екрана.

3. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1985. – 273 с. [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. данные. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090588.pdf, свободный (дата обращения 03.05.2024). – Назва з екрана.

4. Сайт товариства з обмеженою відповідальністю «Софт фонд». [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступа: <http://www.sfund.kiev.ua/ukr/products/ecology.htm#eol%202000h>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

5. Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#Text>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

6. Про охорону атмосферного повітря [Електрон. ресурс] : Закон України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2708-12#Text>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

7. Про охорону навколишнього середовища [Електрон. ресурс] : Закон України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/1264-12>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

8. Про затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства охорони навколишнього середовища України. – Електрон. текст.

дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06#Text>, вільний (дата звернення: 03.05.2024). – Назва з екрана.

9. Гігієнічні регламенти орієнтовно безпечних рівнів впливу хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства охорони здоров'я України . – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0157-20#Text>, вільний (дата звернення: 03.05.2024). Назва з екрана.

10. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства охорони здоров'я України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text>, вільний (дата звернення: 03.05.2023). – Назва з екрана.

11. Про затвердження Державних санітарних правил охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства охорони здоров'я України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>, вільний (дата звернення: 03.05.2023). – Назва з екрана.

12. Про оцінку впливу на довкілля [Електрон. ресурс] : Закон України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>, вільний (дата звернення: 03.05.2024). – Назва з екрана.

13. Про затвердження критеріїв визначення планованої діяльності, яка не підлягає оцінці впливу на довкілля, та критеріїв визначення розширень і змін діяльності та об'єктів, які не підлягають оцінці впливу на довкілля [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінета Міністрів України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1010-2017-%D0%BF#n12>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

14. Єдиний реєстр з оцінки впливу на довкілля [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://eia.menr.gov.ua/>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

15. Про затвердження Порядку проведення робіт, пов'язаних з видачою дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку суб'єктів господарювання, які отримали такі дозволи [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінета Міністрів України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/302-2002-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

16. Порядок внесення установ, організацій та закладів, які здійснюють розробку документів, що обґрунтовують обсяги викидів для підприємств, установ, організацій та громадян – суб’єктів підприємницької діяльності, до переліку Мінприроди України [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1755-12#Text>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

17. Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на державний облік об’єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров’я людей і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0445-02#Text>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

18. Про затвердження Інструкції про вимоги до оформлення документів, в яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами [Електрон. ресурс] Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1475-23#Text>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

19. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо скорочення кількості документів дозвільного характеру [Електрон. ресурс]. : Закон України. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/1193-18>, вільний (дата звернення: 16.03.2024). – Назва з екрана.

20. Бекетов В. Є. Дистанційний курс «Методологія прогнозування забруднення атмосферного повітря міст» на платформі Moodle [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст дані. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=814>, вільний (дата звернення: 26.01.2023). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Таблиці інвентаризації викидів забруднювальних речовин стаціонарними джерелами

Вироб- ництво	N дж ер. вики ду	N вен. уста нов- ки	Джерело утворе ння забруднюю- чої речовини		Етапи те- хнологіч- ного про- цесу		Заванта- ження те- хнологі- чного об- ладнання	Об'ємна витрата газу куб.м/ сек	Тем- пера- тура С
			Наймену- вання	Кіль- кість					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Забруднююча речовина		Значення концентрації забруднюючих речовин мг/куб.м			Методика визначення показників
Код	Найменування	факт.		проектне значення	Актив Перей "Настр Windo
		мак.	мін.	по техноло- гічному * регламенту	
10	11	12	13	14	15
10	11	12	13	14	15

Рисунок А.1 – Характеристика джерел утворення забруднювальних речовин

N дж ер. вики дів	Найме- нуван- ня джерела	Ви- сота дже- рела вики ду м	Діа- метр дже- рела вики ду м	Координати джерела				Характеристика пилогазового повітря ної суміші			
				точково- го або початку лінійно- го, цен- триї пло- щинного	другого кінця лі- нійного, ширина і довжина площинно- го	Кут до вжини площин- ного джерела від носно м3/сек ОХ за- водсь- кої си- стеми (град)	об'єм м/сек	швид- кість м/сек	тем- пера- тура С		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Забруднююча речовина		Вихідні дані для визначення величини викиду (максима- льні)				Визначена по- тужність вики- ду		Методи- ка виз- начен- ня ве- личин викид- ів	
код	найменуван- ня забруд- нюючої ре- човини	факт		проектні		розрахункові		г/с	т/рік
		г/с	г/с	т/рік	г/с	т/рік			
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Рисунок А.2 – Характеристика джерел викидів забруднювальних
речовин

№ держави	№ вентилізації	№ ГОУ	Газоочисна установка		Міжремонтний період експлуатації		Параметри ПГПС на вході в ГОУ		Параметри ПГПС на виході з ГОУ	
			Клас	Найменування	період	дата останнього ремонту	об'ємні витрати газу	температура С	об'ємні витрати газу	температура С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Забруднюючі речовини по яких проводиться газоочистка		№ ступен. очищен.	Концентрація речовини на вході в ГОУ мг/куб.м		Ефектив. очищення %		Концентрація речовини на виході з ГОУ мг/куб.м		Прилади контролю якими обладнано ГОУ	
код	найменування									
12	13	14	15	16	17	18				

Рисунок А.3 – Характеристика газоочисних установок

Виробництво	Продукція, що випускається			Характеристика сировини, матеріалу			Викиди забруднюючих речовин			Питомий викид на одиницю силових, продукції	
	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Код	Найменування	Одиниця виміру		Фактичний викид
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Рисунок А.4 – Характеристика викидів забруднювальних речовин від основних виробництв

Електронне навчальне видання

БЄКЄТОВ Володимир Єгорович

**МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ
ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

Відповідальний за випуск *Д. В. Дядін*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2021, поз. 42Л

Підп. до друку 16.05.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 4,4.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.