

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

В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова

ДЖЕРЕЛА ТА ПРОЦЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

МОДУЛЬ 1 – Джерела та процеси забруднення атмосфери

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання
спеціальності 101 – Екологія)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

Бекетов В. Є. Джерела та процеси забруднення атмосфери. Модуль 1 Джерела та процеси забруднення атмосфери: конспект лекцій для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання спеціальності 101 – Екологія) / В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова. – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. Н. Бекетова, 2019. – 113 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. В. Є. Бекетов,
ст. викл. Г. П. Євтухова

Рецензент

Ф. В. Стольберг, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 8 від 11. 03. 2019.

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам екологічних спеціальностей вузів під час підготовки до занять, заліків та іспитів з дисципліни Джерела та процеси забруднення атмосфери.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АТМОСФЕРА, ЇЇ СКЛАД, БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ.....	7
1.1 Чинники, що зумовлюють пересування повітряних мас.....	9
1.2 Природні ресурси атмосфери.....	10
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЖЕРЕЛ ТА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ.....	12
2.1 Класифікація джерел забруднення атмосфери.....	12
3 ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ЗАБРУДНЮВАЧІ АТМОСФЕРИ.....	15
3.1 Фізичні забруднювачі атмосфери.....	15
3.2 Хімічні забруднювачі атмосфери.....	16
4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ГОЛОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ДОМІШОК АТМОСФЕРИ.....	18
4.1 Оксид вуглецю (CO).....	18
4.2 Діоксид сірки (SO ₂).....	19
4.3 Вуглеводні (C _m H _n).....	19
4.4 Оксиди азоту (NO _x).....	19
4.5 Аерозолі.....	20
4.6 Діоксид вуглецю (CO ₂).....	21
5 ХІМІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ (ТРАНСФОРМАЦІЯ) ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ.....	23
5.1 Трансформація сполук вуглецю.....	24
5.2 Трансформація метану.....	24
5.3 Трансформація сполук сірки.....	25
5.4 Трансформація сполук азоту.....	27
6 СМОГ І ЙОГО ВИДИ.....	29
6.1 Фотохімічний смог.....	29
6.2 Лондонський смог.....	29
6.3 Крижаний смог.....	30
7 ГОЛОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПИЛУ ТА ГАЗІВ.....	31
7.1 Щільність пилу.....	31
7.2 Дисперсний склад пилу та способи його завдання.....	31

7.3 Аутогезіонні властивості пилу	36
7.4 Сипучість пилу	36
7.5 Абразивність пилу	37
7.6 Електричні властивості пилу	37
7.7 Змочуваність пилу	37
7.8 Пожежо- та вибухонебезпечні властивості пилу	38
8 ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ	39
8.1 Способи завдання компонентного складу газів	39
8.2 Щільність, в'язкість і теплоємність суміші газів	40
8.3 Вологість газів і способи її завдання. Зв'язок між параметрами вологого повітря, «I-D»-діаграма	41
ДЖЕРЕЛА УТВОРЕННЯ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ	44
ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН	44
9 ОСНОВИ УТВОРЕННЯ АЕРОЗОЛЕЙ І	44
ГАЗОПОДІБНИХ ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРИ	44
10 ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ОБ'ЄКТАМИ ЕНЕРГЕТИКИ	46
10.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від енергетичних установок	47
11 ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	60
11.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від автотранспорту	61
12 ДЖЕРЕЛА УТВОРЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	67
12.1 Зварювання та теплове різання метала	67
12.2 Ливарні цеха	70
12.3 Механічна обробка металів	75
12.4 Термічні цеха	77
12.5 Лакопокраска	77
12.6 Гальванічна обробка	79
13 ДЕРЕВООБРОБКА	82

14 ЧОРНА МЕТАЛУРГІЯ	84
14.1 ПРОЦЕС АГЛОМЕРАЦІЇ (ЗБАГАЧЕННЯ)	84
14.2 ВИРОБНИЦТВО КОКСУ	84
14.3 ДОМЕННЕ ВИРОБНИЦТВО.....	84
14.4 ВИРОБНИЦТВО СТАЛИ.....	85
14.5 ВИРОБНИЦТВО ПРОКАТУ.....	86
15 КОЛЬОРОВА МЕТАЛУРГІЯ.....	87
16 БУДІВЕЛЬНА ПРОМИСЛОВІСТЬ	88
16.1 ВИРОБНИЦТВО ЦЕГЛИ.....	88
16.2 ВИРОБНИЦТВО ЦЕМЕНТУ	88
16.3 ВИРОБНИЦТВО ВАПНА	90
16.4 ВИРОБНИЦТВО СКЛА.....	91
16.5 ВИРОБНИЦТВО НЕРУДНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	92
16.6 Мінераловатне виробництво.....	93
16.7 ВИРОБНИЦТВО БЕТОНУ	94
16.8 ВИРОБНИЦТВО КЕРАМЗІТУ	95
16.9 ВИРОБНИЦТВО АСФАЛЬТОБЕТОНУ	96
17 ВИДОБУТОК МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ	98
17.1 Викиди забруднюючих речовин підприємствами вугільної промисловості.....	98
18 ПЕРЕРОБКА НАФТИ І ЗБЕРІГАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ	102
19 ХІМІЧНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ВИРОБНИЦТВО	107
МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ	107
20 ВИРОБНИЦТВО ПАПЕРУ	109
21 СПАЛЮВАННЯ, ЗВАЛИЩА ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	110
22 ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ПРОВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОБІТ	111
23 ПОЛІГРАФІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО, ХІМІЧНА ЧИСТКА ОДЯГУ.....	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113

ВСТУП

Дисципліна «Джерела та процеси забруднення атмосфери» входить до програми підготовки бакалавра за спеціальністю 101 – Екологія.

У конспекті лекцій розглянуто питання, що стосуються атмосфери, її складу будови та функцій, наведено характеристику та класифікацію джерел забруднення атмосфери; описано фізичні та хімічні забруднювачі атмосфери, схарактеризовано головні домішки в атмосфері; розглянуто головні фізико-хімічні властивості пилу та газів.

Розглянуто також процеси утворення твердих, рідких і газоподібних забруднень атмосфери, джерела утворення забруднюючих речовин основних галузей промислового виробництва, наведені основи розрахунку викидів домішок в атмосферу. Детально представлені методики розрахунку викидів забруднюючих речовин від підприємств енергетики і автотранспорту.

Дисципліна дає студентові знання, за допомогою яких можна розрахувати параметри пилогазової суміші, необхідні для визначення ефективності роботи газоочисного устаткування, зробити якісну оцінку і виконати необхідні розрахунки для кількісної оцінки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря основними промисловими підприємствами.

1 АТМОСФЕРА, ЇЇ СКЛАД, БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ

Атмосфера – зовнішня газова оболонка Землі, механічна суміш різних газів, водяної пари та твердих (аерозольних) часток.

Склад атмосфери перебуває у стані динамічної рівноваги, що підтримується такими кліматичними чинниками, як переміщення повітряних мас (вітер і конвекція) й атмосферні осідання, життєдіяльність тваринного та рослинного світів, особливо лісів і планктону світового океану, а також за допомогою космічних процесів, геохімічних явищ і господарської діяльності людини.

Зразковий хімічний склад атмосферного повітря (в об'ємних відсотках у перерахунку на сухе повітря) виглядає так (рис. 1.1).

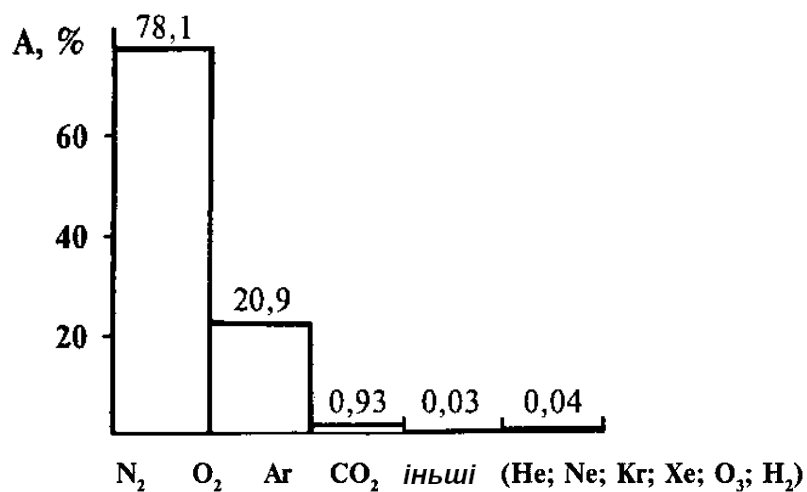


Рисунок 1.1 – Хімічний склад атмосферного повітря (в об'ємних відсотках): азот (N₂) – 78,1 %; кисень (O₂) – 20,85 %; аргон (Ar) – 0,93 %; діоксид вуглецю (CO₂) – 0,033 %; на долю інших компонентів – неон (Ne), гелій (He), критон (Kr), ксенон (Xe), озон (O₃), водень (H₂) становить не більше 0,04 %; склад водяної пари коливається в інтервалі 0,01 – 4%

Загальна маса атмосфери становить $5,14 \times 10^{15}$ т. Приблизно 50 % маси атмосфери належить ніжньому шарові завтовшки 5 км. Маса шару, що має товщину 30 км, становить 99% усієї маси атмосфери.

За вертикаллю атмосфера має шароподібну будову. Виділення окремих зон (табл. 1.1) ґрунтується на зміні температури відносно висоти.

Верхня межа атмосфери чітко не виділяється. Вона поступово переходить у космічний простір.

Таблиця 1.1 – Характеристика основних зон, що виділяються в атмосфері

Зона атмосфери	Верхня та нижня межі зони від рівня моря, км	Температура, °С	
		нижня межа зони	верхня межа зони
Тропосфера	0–11	+15	-56
Стратосфера	11–50	-56	-2
Мезосфера	50–85	-2	-92
Термосфера	85–500	-92	+1200

Середня температура атмосфери в середніх широтах зменшується з висотою до відмітки 11 км за лінійним принципом. При цьому середня температура на рівні моря дорівнює 288 К, а на висоті 11 км – 216,7 К (рис. 1.2).

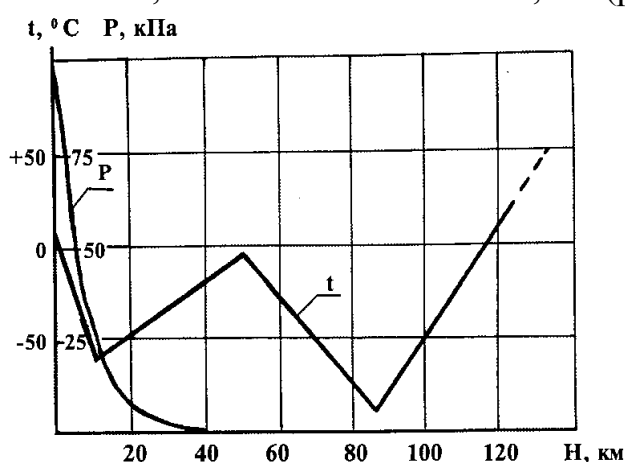


Рисунок 1.2 – Розподіл тиску та температури атмосферного повітря за висотою (за певних середніх умов)

Відповідно до зазначеного вище, стандартний або нормальний температурний градієнт дорівнює:

$$-\left(\frac{dT}{dH}\right)_{\text{станд}} = (288 - 216,7)/10,8 \times 10^3 = 0,0066 \text{ К/м.}$$

Середній атмосферний тиск на рівні моря становить 101,3 кПа.

За умов, що відповідають середньому тискові на рівні моря й багаторічній середньорічній температурі атмосферного повітря на рівні моря, що дорівнює 15 °С, розподіл тиску з висотою визначається за міжнародною барометричною формулою:

$$P(H) = 101,3(1 - 6,5 H/288)^{5,255}, \text{ кПа,}$$

де P – тиск, кПа;

H – висота над рівнем моря, км.

Сонце, Земля та земна атмосфера утворюють одну велику динамічну систему.

1.1 Чинники, що зумовлюють пересування повітряних мас

Пересування повітряних мас є результатом дії таких чинників:

1. Горизонтальні градієнти тиску, які виникають унаслідок відмінностей у нагріванні повітря та є причиною конвекцій й горизонтальних пересувань повітряних мас.

2. Сила Коріоліса, що виникає унаслідок обертання Землі. Коріоліса сила – сила інерції, за допомогою якої враховується вплив обертання системи відліку на відносний рух матеріальної крапки. Цей вплив виявляється в тому, що в системі відліку, яка обертається, рухома матеріальна точка або відхиляється за напрямом, перпендикулярним її відносній швидкості, або тисне на зв'язок, що перешкоджає такому відхиленню. Наприклад, добовий оберт Землі призводить до того, що річки, поточні меридіональному напрямку, підмивають правий берег північної півкулі (за течією), лівий берег – південної півкулі.

3. Відцентрове прискорення, що виникає в районах, прилеглих до областей високого та низького тиску. Рух повітряних потоків довкола центрів високого тиску здійснюється за годинниковою стрілкою з відхиленням назовні й донизу від колового руху. Цей потік отримав назву низхідного та є однією з можливих перешкод для розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері. Під час руху повітря довкола центру високого тиску в північній півкулі за годинниковою стрілкою формується антициклон. Під час руху повітряних потоків навколо центрів низького тиску вектор швидкості спрямований усередину й угору від колового руху проти годинникової стрілки. У цьому разі забруднювальні речовини з нижніх шарів атмосфери пересуваються до гори й розсіваються у великих об'ємах повітря. Під час руху повітря навколо центру низького тиску у північній півкулі в напрямку проти годинникової стрілки формується циклон.

4. Сили тертя, що уповільнюють рух повітря поблизу земної поверхні.

Атмосфера виконує такі функції:

- містить кисень, необхідний для дихання живих організмів;
- є джерелом вуглекислого газу для фотосинтезу рослин;
- захищає живі організми від космічних випромінювань;
- зберігає тепло Землі й регулює клімат;
- трансформує газоподібні продукти обміну речовин;
- переносить водні пари по планеті;
- є місцем існування форм організмів, що літають;
- слугує джерелом хімічної сировини й енергії;
- приймає та трансформує газоподібні та пилоподібні відходи.

1.2 Природні ресурси атмосфери

Атмосфера становить джерелом отримання таких промислових газів, як O_2 , N_2 , Ar , CO_2 ($t_{кип.}$, $^{\circ}C$ відповідно: -183, -186, -169, -78,5(сухий лід).

Основними споживачі кисню :

- процеси штучного та природного згоряння;
- дихання живих організмів.

Головне джерело кисню – реакція фотосинтезу – відновлення CO_2 світлочутливою речовиною (хлорофілом) під дією сонячного світла.

Механізм фотосинтезу через складнощі природи багатьох проміжних реакцій повністю не з'ясований. Проте відомо, що реакція посилюється внаслідок збільшення парціального тиску вуглекислого газу (P_{CO_2}) та зменшенні парціального тиску кисню (P_{O_2}). Швидкість реакції фотосинтезу залежить від інтенсивності світла й температури.

У темряві швидкість реакції фотосинтезу дорівнює нулю. Зі збільшенням інтенсивності світла швидкість реакції спочатку зростає лінійно, а потім за асимптотою прагне максимального значення R_{max} . Положення R_{max} залежить від P_{CO_2} і P_{O_2} .

Установлено, що у процесі фотосинтезу бере участь $22,5 \times 10^{10}$ т органічної речовини на рік, до того ж 50 % цієї речовини належить планктонів океанів. В океані відбуваються дві конкуруючі реакції – дихання (на глибині) і фотосинтез (на поверхні). Рівноважна крапка розташована на глибині до 160 м у чистій воді та 1–2 см – у каламутній воді.

Вироблення фітопланктоном кисню знижується зі зменшенням кількості світла, що потрапляє на океан. Це зменшення – наслідок розсіювання світла атмосферним пилом і димом, а також пролітої на водну поверхню нафти.

Збільшення виділення CO_2 і підвищення температури навпаки сприяє прискоренню реакцій фотосинтезу.

Найбільшу загрозу процесу вироблення O_2 становить утворення газонепроникного шару між джерелом фотосинтезу й атмосферою. Газонепроникний шар може виникнути через розлив нафтопродуктів. Він пригнічує фотосинтез, оскільки утворена плівка перешкоджає надходженню CO_2 з повітря до води та виходу з води кисню, що утворюється. Це явище може спричинювати гіпотетичні проблеми, із якими людство зіткнеться в майбутньому. Сьогодні немає безпосередніх ознак серйозного порушення циклу фотосинтезу.

Розрахунки показують, що порівняно з кількістю вуглецю в органічній матерії та викопному паливі запаси кисню великі.

На 1 м² земної поверхні доводиться 60 000 моль кисню при загальній його витраті 8 моль на 1 м² на рік. На окислення 200 моль вуглецю, що міститься в кожному м² земної поверхні у вигляді живої тканини й гумусу, витрачається лише 1 % запасів атмосферного кисню.

Якщо людина спалить усі відомі запаси викопного палива, то використає лише 3 % наявного кисню.

Водночас (за оптимальних умов) 1 л хлорели може забезпечити 560 л кисню – необхідна кількість для денного дихання людини.

2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЖЕРЕЛ ТА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Забруднення атмосфери – зміна складу атмосфери внаслідок потрапляння до неї домішок.

Домішка атмосфери – це розсіяна в атмосфері речовина, що не міститься у її постійному складі.

Забруднююча речовина – це домішка в атмосфері, що несприятливо впливає на навколишнє середовище та здоров'я населення.

Оскільки домішки атмосфери можуть зазнавати різних перетворень, їх можна умовно поділити на первинні й вторинні.

Первинний домішок в атмосфері – домішок, що зберег за певний інтервал часу свої фізичні та хімічні властивості.

Вторинний домішок в атмосфері – це домішок атмосфери, що утворився внаслідок перетворення первинних домішок.

Перетворення домішок в атмосфері – процес, за якого домішки атмосфери піддаються фізичним і хімічним змінам під дією природних і антропогенних чинників, а також унаслідок взаємодії між собою.

Для *кількісної оцінки* змісту домішок в атмосфері використовують поняття їхньої *концентрації* – кількості речовини, що міститься в одиниці маси або об'єму повітря, приведеного до нормальних умов.

У різних точках урбанізованого простору концентрації домішок в атмосфері можуть істотно різнитися. Для опису цього явища використовують поняття *поле концентрації домішок* в атмосфері – графічне зображення просторової мінливості концентрації домішок в атмосфері, віднесене до устанавленого часу осереднення.

Забруднювальні речовини викидаються до атмосфери як суміш пилу, диму, туману, пари та газоподібних речовин.

2.1 Класифікація джерел забруднення атмосфери

Джерела домішок можуть бути природними, зумовленими природними процесами й антропогенними, зумовленими діяльністю людини.

Серед природних джерел забруднення атмосферного повітря виокремлюють заповишені бурі, масиви зелених насаджень у період цвітіння, степові й лісові пожежі, виверження вулканів. Домішки, що виділяються природними джерелами:

– пил рослинного, вулканічного, космічного походження, продукти ерозії ґрунту, частинки морської солі;

- тумани, дим і гази від лісових і степових пожеж;
- гази вулканічного походження;
- продукти рослинного, тваринного, бактеріального походження.

Природні джерела можуть бути площадковими (розподіленими) та діють порівняно короткочасно. Рівень забруднення атмосфери природними джерелами є фоновим і мало змінюється з часом.

Антропогенні (техногенні) джерела забруднення атмосферного повітря, представлені переважно викидами промислових підприємств і автотранспорту, відрізняються чисельністю й різноманіттям видів (рис. 2.1).

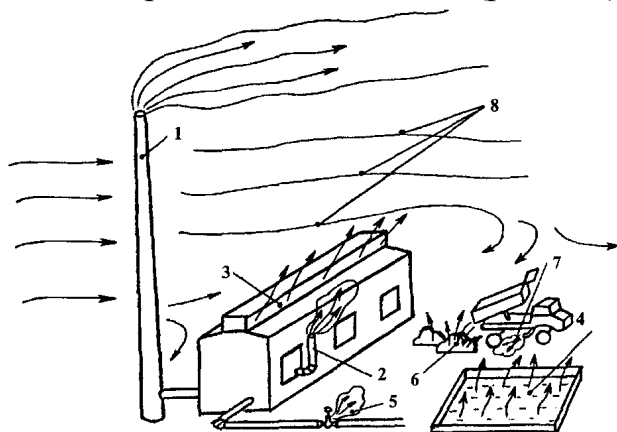


Рисунок 2.1 – Джерела забруднення атмосфери

1 – високий димар; 2 – низький димар; 3 – аераційний ліхтар цеху; 4 – випаровування з поверхні басейну; 5 – витік через нещільність обладнання; 6 – пиління під час розвантаження сипких матеріалів; 7 – вихлипна труба автомобіля; 8 – напрям руху потоків повітря

Джерела викидів промислових підприємств можуть бути стаціонарними (джерела 1–6), за яких координата джерела викиду не змінюється в часі, і пересувними (нестаціонарними) (джерело 7 – автотранспорт).

Джерела викидів до атмосфери розподіляють на: точкові, лінійні та площадкові. Кожен з них може бути затінений і незатінений.

Точкові джерела (на рис. 2.1 – 1, 2, 5, 7) – це забруднення, зосереджені в одному місці, координата яких має координату точки. До них належать димарі, вентиляційні шахти, кришні вентилятори.

Лінійні джерела (3) мають значну протяжність. Це аераційні ліхтарі, низьки відкритих вікон, близько розташовані дахові вентилятори. До них можуть також належать автотраси.

Площадкові джерела (4, 6). Забруднення, що видаляються з цих джерел, розосереджені по площині промислового майданчику підприємства. До площадкових джерел належать місця складування виробничих і побутових відходів, автостоянки, склади паливно-мастильних, сипких матеріалів.

Незатінені (1), або високі джерела розташовані в недеформованому потоці вітру. Це димарі й інші джерела, що викидають забруднення на висоту, що перевищує 2,5 висот розташованих поблизу будівель та інших перешкод.

Затінені джерела (2–7) розташовані в зоні підпору або аеродинамічної тіні будівлі або іншої перешкоди.

Джерела викидів забруднювальних речовин до атмосфери розподіляють на *організовані й неорганізовані*.

Із організованого джерела (1, 2, 7) забруднювальні речовини потрапляють до атмосфери через спеціально споруджені газоходи, воздуховоди та труби.

Неорганізоване джерело виділення забруднювальних речовин (5, 6) утворюється внаслідок порушення герметичності обладнання, відсутності або незадовільної роботи обладнання з відсмоктування пилу та газів, у місцях завантаження, розвантаження або зберігання продукту. До неорганізованих джерел належать автостоянки, склади паливно-мастильних або сипких матеріалів та інші площадкові джерела.

3 ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ЗАБРУДНЮВАЧІ АТМОСФЕРИ

3.1 Фізичні забруднювачі атмосфери

Організм людини у процесі життєдіяльності піддається дії шкідливих хімічних і фізичних впливів.

До шкідливих фізичних дій (фізичне забруднення) належать забруднення, обумовлене зміною фізичних параметрів середовища – радіаційних, шумових, світлових, температурних, електромагнітних тощо.

Іонізовані випромінювання – радіаційні дії високого рівня енергії (потoki α -, β - і γ -часток, що утворюються під час радіоактивного розпаду або у прискорювачах), електромагнітні випромінювання довжиною хвилі менше 10^{-7} см.

Іонізовані випромінювання характеризуються високим ступенем біологічної дії на рівні молекул і клітин, окремих органів та організму загалом. При цьому відбувається поглинання біосубстратом енергії випромінювання, іонізація атомів і молекул, пошкодження молекулярних сполук і утворення активних вільних радикалів.

Неіонізовані випромінювання – частина електромагнітного спектру довжиною хвилі більше 10^{-7} см у діапазоні від низьких до лазерних частот, невеликі дози радіоактивного випромінювання.

Неіонізовані випромінювання не мають такої швидкої руйнівної дії на живі організми як іонізоване випромінювання, проте віддалені наслідки його дії часто виявляються достатньо небезпечними.

Акустичні дії – шум, ультразвук, інфразвук і вібрація.

Акустична дія – шум є безладними коливаннями складної спектральної структури. Інтенсивність і спектральний склад шуму визначають ступінь дії на організм загалом.

Акустичні коливання залежно від частоти поділяються на ультразвук (із частотою більше 20 000 Гц), звук, що сприймається органами слуху людини (від 16 Гц до 20 000 Гц) й інфразвук (частота менше 16–25 Гц).

Сильний шум негативно впливає на органи слуху людини, погіршується сприйняття звуків. Його постійна дія знижує працездатність і є причиною неврозів і багатьох інших захворювань.

Вібрація й інфразвук негативно впливають на стан людей, спричиняючи відчуття прискореного коливання внутрішніх органів і больові відчуття, синдром морської хвороби, а також відчуття тривоги, страху, ускладнюють і погіршують інтелектуальну діяльність. Джерелами інфразвукових коливань і обумовлених ними вібрацій є компресорні станції, вентилятори, кондиціонери, градирні, турбіни дизельних електростанцій тощо.

3.2 Хімічні забруднювачі атмосфери

Хімічне забруднення повітря – це викиди до атмосфери хімічних елементів та їхніх сполук. Ці викиди характеризуються чотирма такими ознаками:

1. За агрегатним станом: газоподібні, рідкі та тверді.
2. За хімічним складом:
 - діоксид сірки;
 - оксид вуглецю;
 - оксиди азоту;
 - тощо.

Перелік речовин, для яких встановлено рівні гранично-допустимих концентрацій і орієнтовно-безпечних рівнів впливу включає понад 2 000 найменувань.

3. За розміром часток:
 - менше 0,5 мкм;
 - від 0,5 до 3 мкм;
 - від 3 до 10 мкм;
 - від 10 до 50 мкм;
 - від 50 мкм і більше.
4. За масою речовини, що викидається:
 - менше 1 кг/годину;
 - від 1 до 10 кг/годину;
 - від 10 до 100 кг/годину;
 - від 100 до 1 000 кг/годину;
 - від 1 000 до 10 000 кг/годину;
 - від 10 000 кг/годину і більше.

Найпоширенішими забруднювальними речовинами, що поступають в атмосферне повітря від техногенних джерел є такі:

- оксид вуглецю – CO;
- діоксид сірки – SO₂;
- оксиди азоту – NO_x;
- вуглеводні – C_mH_n
- пил.

Зі всієї маси забруднювальних шкідливих речовин, що потрапляють до атмосфери від антропогенних джерел, близько 90 % становлять газоподібні, 10 % – тверді та рідкі речовини.

Найчистіше повітря на землі – над океаном. Рівень забруднення перевищує цей показник:

- у 10 разів – у сільській місцевості;
- 35 разів – над селищами та малими містами;
- 150 разів – над великими промисловими центрами.

Перевищення концентрації забруднювальних речовин над фоновими може досягати:

- для CO від 80 до 1 250 разів;
- для SO₂ від 50 до 300 разів;
- для NO_x до 25 разів;
- для O₃ до 7 разів.

Середні щорічні викиди домішок в атмосферу (млн т/рік) від антропогенних і природних джерел подані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Середні щорічні викиди домішок в атмосферу

Речовина	Природні джерела	Антропогенні джерела	Відсоток антропогенного викиду
Пил	3 700	1 000	27
CO	5 000	304	5,7
C _m H _n	2 600	88	3,3
NO _x	770	53	6,5
SO ₂	650	100	13,3
CO ₂	485	18,3	3,6

4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ГОЛОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ДОМІШОК АТМОСФЕРИ

4.1 Оксид вуглецю (СО)

Оксид вуглецю (СО) – (337-5/3-4)¹ – найпоширеніший і найбільш значний домішок атмосфери, який у побуті називають чадним газом. Уміст СО у природних умовах становить від 0,01 мг/м³ до 0,2 мг/м³.

Основна маса викидів СО утворюється унаслідок спалювання органічного палива, насамперед, у двигунах внутрішнього згорання. Зміст СО в повітрі великих міст коливається в межах 1 – 250 мг/м³ за середнього значення 20 мг/м³. Найвища концентрація СО спостерігається на вулицях і площах міст із інтенсивним рухом, особливо біля перехресть.

Висока концентрація СО в повітрі призводить до фізіологічних змін в організмі людини, а концентрація понад 750 мг/м³ – до загибелі. СО – винятково агресивний газ, що легко поєднується з гемоглобіном крові, утворюючи *карбоксигемоглобін*. Стан організму під час дихання повітрям, що містить чадний газ, характеризується даними, наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Дія чадного газу на організм людини

Зміст карбоксигемоглобіну, %	Симптоми
0,4–2	Погіршення гостроти зору та здатності оцінювати тривалість інтервалів часу
2–5	Порушення психомоторних функцій головного мозку
5–10	Зміна діяльності серця та легенів
10–80	Головний біль, сонливість, спазми, порушення дихання, смертельні випадки

Ступінь дії СО на організм людини залежить також від тривалості дії (експозиції) і виду діяльності людини. Наприклад, за вмісту СО в повітрі 10–50 мг/м³, що спостерігається на перехрестях вулиць великих міст, за експозиції 60 хвилин фіксуються порушення, наведені у п. 1, а за експозиції від 12 годин до 6 тижнів – у п. 2. Під час важкої фізичної роботи отруєння настає у 2–3 рази швидше. Утворення карбоксигемоглобіну – процес, що можна повернути назад, через 3–4 години вміст його у крові зменшується у два рази. Час перебування СО в атмосфері становить 2–4 місяці.

¹ 337– код речовини;

5/3 – 4 означає: ГДК_{мр} = 5 мг/м³; ГДК_{сд} = 3 мг/м³; клас небезпеки – 4.

4.2 Діоксид сірки (SO₂)

Діоксид сірки (SO₂) – (330–0,5/0,05–3)– безбарвний газ із гострим запахом. На його частку доводиться до 95% загального об'єму сірчистих сполук, що надходять до атмосфери з антропогенних джерел. До 70 % викидів SO₂ утворюються під час спалювання вугілля, близько 15 % – під час спалювання мазуту.

За концентрації SO₂ 20–30 мг/м³ роздратовується слизова оболонка рота й очей, у роті виникає неприємний присмак. Особливо чутливі до SO₂ хвойні ліси. За концентрації SO₂ у повітрі 0,23–0,32 мг/м³ унаслідок порушення фотосинтезу відбувається усихання хвої протягом 2–3 років. Аналогічні зміни у листяних деревах відбуваються за концентрації SO₂ 0,5–1 мг/м³.

4.3 Вуглеводні (C_mH_n)

Вуглеводні (C_mH_n, m = C₁₂ – C₁₉) – (2754-1/--4) Головне техногенне джерело викидів вуглеводнів (C_mH_n) – пари бензину, метан, пентан, гексан) – автотранспорт. Його питома вага становить понад 50 % загального об'єму викидів. У разі неповного згоряння палива відбувається також викид циклічних вуглеводнів, що мають канцерогенні властивості. Особливо багато канцерогенних речовин міститься в сажі, що викидається дизельними двигунами.

Із вуглеводнів в атмосферному повітрі найчастіше зустрічається метан, що є наслідком його низької реакційної здатності. Вуглеводні володіють наркотичною дією, спричиняють головний біль, запаморочення. У разі вдихання протягом 8 годин парів бензину з концентрацією понад 600 мг/м³, виникають головний біль, кашель, неприємне відчуття в горлі.

4.4 Оксиди азоту (NO_x)

Оксиди азоту (NO, NO₂) утворюються під час горіння за високої температури внаслідок окислення частини азоту, що міститься в атмосферному повітрі. Під загальною формулою NO_x зазвичай мають на увазі суму NO і NO₂. Головні джерела викидів NO_x: двигуни внутрішнього згоряння, топки промислових казанів, печі.

NO₂ – (301-0,085/0,04-2) газ жовтого кольору, що надає повітрю в містах коричневого відтінку. Отруйна дія NO₂ починається з легкого кашлю. Унаслідок підвищення концентрації, кашель посилюється, починається головний біль,

виникає нудота. При контакті з водною парою на поверхні слизової оболонки утворюються кислоти HNO_3 і HNO_2 , що можуть призвести до набряку легенів. Тривалість перебування NO_2 в атмосфері – близько трьох діб.

NO – (304-0,4/0,06-3) безбарвний газ, без запаху, без смаку, негорючий, що погано розчиняється у воді. На повітрі **NO** окислюється до **NO₂**.

4.5 Аерозолі

Зважені речовини утворюють двофазну (бінарну) полідисперсну систему, яка отримала назву **аерозолі**. Загальна кількість різновидів аерозолів, що забруднюють атмосферу, становить декілька сотень.

Аерозолі прийнято розподіляти на три класи: **пил, дими й тумани**.

Пил – полідисперсні системи твердих зважених часток розміром від 5 мкм до 100 мкм. Іноді пилом називають безпосередньо тверді зважені частки.

Дими – аерозолі, що утворюються під час горіння або сублімації, містяться у викидах електropечей, вагранок, ділянок електрозварювання. Розміри зважених часток від 0,1 мкм до 5 мкм.

Тумани складаються з крапельок рідини, що диспергують у газовому середовищі. У краплях можуть міститися розчинені речовини або суспензовані тверді частки. Утворюються внаслідок *конденсації* пари або *розпилювання* рідини. У першому випадку розмір крапель близький до розміру часток у димах, у другому – до пилу. Утворюються під час забарвлення, під час гартування виробів у маслі.

Особливе місце займають продукти згоряння палива: сажа та зола.

Сажа – токсичний високодисперсний порошок, який на 90–95 % складається з часток вуглецю. Утворюється під час неповного згорання або термічного розкладання вуглеводнів. Має велику адсорбційну здатність стосовно важких вуглеводнів, зокрема до бенз(а)пірену, що робить сажу небезпечною для людини: $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$, $\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$.

Зола – залишок, що не згоряє, утворюється з мінеральних домішок палива за його повного згорання. Склад золи здебільшого визначається видом і складом палива.

Вплив зважених речовин на людину й навколишнє середовище визначається їхнім складом і властивостями.

Особливу небезпеку для здоров'я людини становить токсичний тонкодисперсний пил із розміром часток 0,5–10 мкм, які легко проникають до органів дихання.

Середній розмір часток пилу в атмосферному повітрі – 7–8 мкм. Пил шкідливо діє на людину, рослинний і тваринний світ, поглинає сонячну радіацію, і у такий спосіб впливає на термічний режим атмосфери та земної поверхні. Частки пилу слугують ядрами конденсації під час утворення хмар і туманів. Основна маса пилу вимивається з атмосфери осіданнями.

Головні антропогенні джерела пилу:

- промисловість видобутку і переробка будматеріалів (виробництво цементу, дроблення щебню, тощо);
- сталеливарна промисловість (бурий дим – оксиди заліза);
- кольорова металургія (частинки Al, Cu, Zn);
- автотранспорт, спалювання відходів, палива (сажа, зола).

Зразковий склад пилу повітря великих промислових центрів:

- 20 % – оксиди заліза;
- 15 % – силікати;
- 5 % – сажа;
- інше – оксиди металів: As, Mo, Sb, тощо.

Орієнтовні значення умісту пилу в повітрі, мг/м³ (середньодобові):

- сільське повітря – 0,02;
- повітря міст – 0,1–0,4;
- у промислових районах (максимальні значення) - до 15;
- магазини – 5–8;
- ливарні цехи – 15–50;
- вугільні шахти – 100–200;
- ділянка упаковки цементу в мішки – 100–500.

4.6 Діоксид вуглецю (CO₂)

Діоксид вуглецю (CO₂) або вуглекислий газ не є домішкою в атмосфері, оскільки входить до її постійного складу (0,03 %). Природні шляхи попадання його до атмосфери – дихання та розпад організмів, рослин і гумусу. Антропогенні – спалювання речовин, що містять вуглеводні сполуки.

CO₂ міститься в атмосфері в такій кількості, що грає роль у тепловому балансі Землі як за поглинання, так і за випромінювання інфрачервоної радіації. Збільшення вмісту CO₂ в атмосфері призводить до збільшення температури поверхні Землі (парниковий ефект). CO₂ не токсичний на рівнях, передбачених на кінець сторіччя та навіть за вищих концентрацій.

Парниковий ефект атмосфери – властивість атмосфери пропускати сонячну радіацію, але затримувати земне випромінювання, сприяє акумуляції тепла Землею.

Земна атмосфера порівняно добре пропускає сонячну короткохвильову радіацію, яка майже повністю поглинається земною поверхнею, оскільки альbedo² земної поверхні мале. Нагріваючись унаслідок поглинання сонячної радіації, земна поверхня стає джерелом земного, переважно довгохвильового, випромінювання, прозорість атмосфери для якого мала і яке майже повністю поглинається в атмосфері. Унаслідок парникового ефекту за умови ясного неба тільки 10–20 % земного випромінювання може, проникаючи крізь атмосферу, іти до космічного простору.

² Альbedo – характеристика відбивних властивостей поверхні тіл: відношення розсіяного потоку випромінювання поверхні до потоку випромінювання, який падає на поверхню.

5 ХІМІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ (ТРАНСФОРМАЦІЯ) ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ

Тропосфера є нерівноважною хімічно активною системою. Тут безперервно відбуваються процеси зміни концентрації домішок в атмосферному повітрі.

Знання про механізми та швидкість процесів надходження викидів із природних та антропогенних джерел, перенесення до інших сфер (воду, ґрунти) або трансформації в атмосфері дають змогу скласти баланс атмосферної частини глобального колообігу речовин у природі.

Більшість газоподібних домішок, що викидаються до атмосфери, мають відновлену форму або у вигляді оксидів із низьким ступенем окислення (сірководень, метан, оксид азоту). Аналіз атмосферних опадів показує, що домішки, які повернулися на поверхню землі, представлені здебільшого сполуками високого ступеня окислення (сірчана кислота, сульфати, азотна кислота, нітрати, діоксид вуглецю).

Отже, *тропосфера виконує функцію глобального окислювального резервуару.*

Процеси окислення домішок у тропосфері можуть протікати за трьома різними напрямками:

1. Окислення безпосередньо в газовій фазі.
2. Окисленню передуює абсорбція домішок частинками води, надалі процес окислення відбувається в розчині.
3. Окисленню передуює адсорбція домішок на поверхні зважених у повітрі часток.

Функцію окислювача можуть виконувати *молекули кисню, перекис водню, озон*. Провідну роль у процесах окислення, що протікають в атмосфері, грають *вільні радикали*, насамперед *гідроксильний радикал ОН*. Він утворюється у верхніх шарах атмосфери шляхом фотодисоціації води (рівняння 1, 2, 3) та інших реакцій, що відбуваються за участю *збудженого синглетно* атому кисню.



Згідно з експериментальними даними, концентрація гідроксильних радикалів у тропосфері становить $(0,5-5) \times 10^6 \text{ l/cm}^3$.

У основних станах звичайних молекул усі електрони спарені; у збудженому стані усі електрони також можуть бути спареними. Такі збуджені стани, за яких електрони спарені, називаються **синглетними**.

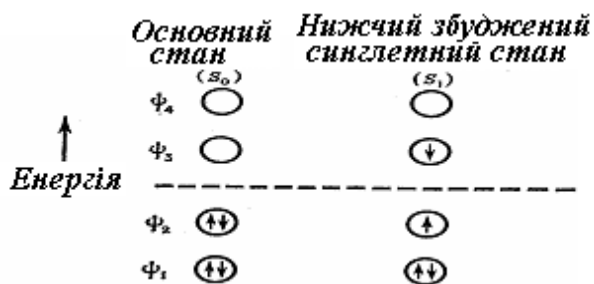
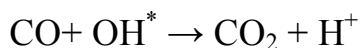


Рисунок 5.1 – Схематичне зображення електронних конфігурацій основного та нижчого збудженого стану (синглетного) молекули з чотирма електронами й чотирма орбіталями: де – $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ - молекулярні орбіталі

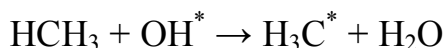
5.1 Трансформація сполук вуглецю

Здебільшого СО можна розглядати як хімічно неактивний компонент повітря. Проте, у стратосфері й за фотохімічного смогу, СО може окислюватися до CO_2 , заємодіючи з вільним радикалом OH^* :

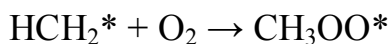


5.2 Трансформація метану

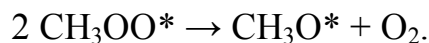
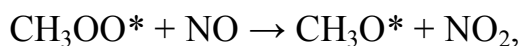
Фотохімічне окислення метану в тропосфері відбувається здебільшого за радикальним механізмом:



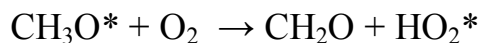
Метильний радикал, що утворився на першій стадії унаслідок зіткнення з молекулою кисню, дає іншу нестійку частку – метилпероксидний радикал:



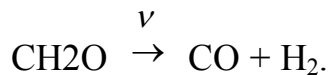
Метилпероксидний радикал в атмосфері розкладається й утворює метоксильний радикал:



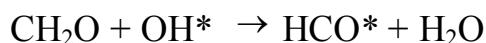
Унаслідок взаємодії метоксильного радикалу з киснем відбувається утворення формальдегіду:



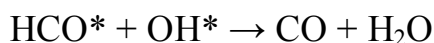
Молекули CH_2O піддаються фотолізу внаслідок поглинання світла в найближчій ультрафіолетовій області з утворенням формільного радикалу:



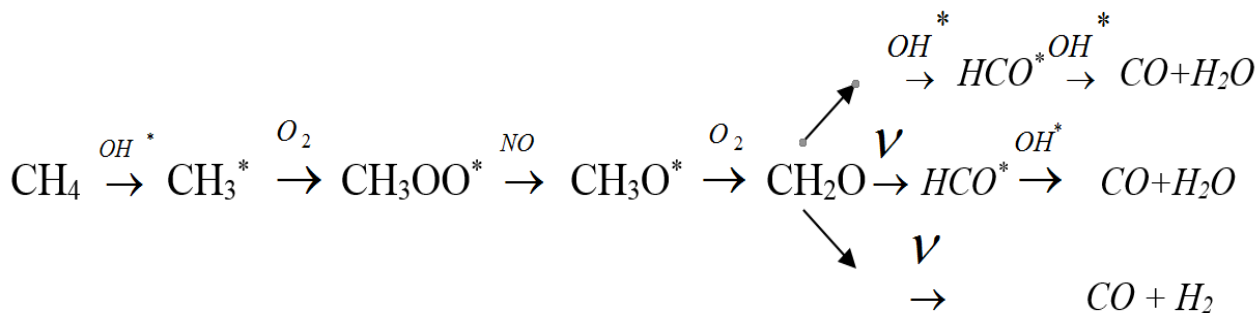
Формільний радикал HCO^* утворюється також під час взаємодії формальдегіду з гідроксилрадикалом:



Реагуючи з OH^* -радикалом, формільний радикал утворює оксид вуглецю, що становить завершальну стадію окислення органічних сполук в атмосфері:

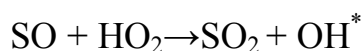
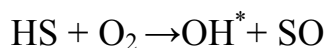
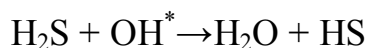


Поданий ланцюжок перетворень метану в атмосфері може виглядати так:

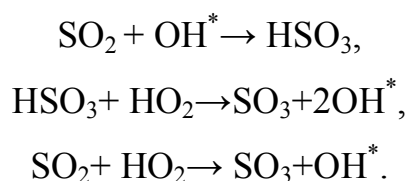


5.3 Трансформація сполук сірки

Детальний механізм трансформації сполук сірки у тропосфері до сьогодні не встановлено. Найвірогіднішим є протікання реакцій окислення за участю вільних радикалів:

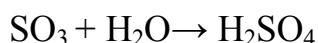


Отриманий із сірководня діоксид сірки (як і SO_2 , що надходить із антропогенних джерел) окислюється далі:



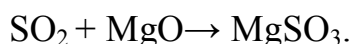
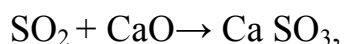
Швидкість трансформації діоксиду сірки за середніх значень концентрацій вільних радикалів у повітрі становить приблизно 0,1 % на годину, що відповідає часу перебування SO_2 в атмосфері і дорівнює п'яти добам. Процес трансформації діоксиду сірки в повітрі різко прискорюється у промислових регіонах, де спостерігається збільшений уміст вільних радикалів.

Триоксид сірки (сірчаний ангідрид) легко взаємодіє з частками атмосферної вологи й утворює розчини сірчаної кислоти:



Реагуючи з аміаком або іонами металів, що наявні в частках атмосферної вологи, сірчана кислота частково переходить у відповідні сульфати. Здебільшого це сульфати амонію, натрію, кальцію.

Утворення сульфатів відбувається й у процесі окислення на поверхні твердих часток, зважених у повітрі. У цьому разі стадії окислення передують адсорбція, що супроводжується хімічними реакціями з утворенням сульфатів:



Внаслідок взаємодії з молекулярним киснем сульфіти переходять у відповідні сульфати.

У дощову погоду можливий процес окислення SO_2 після попередньої адсорбції їх краплями атмосферної вологи. У процесі окислення SO_2 у рідкій фазі активну участь беруть іони OH^- і HO_2^- , які утворюються внаслідок фотохімічних перетворень у шарі хмар. Кінцевими продуктами окислення SO_2 як у розчині, так і в газовій фазі, є сірчана кислота, утворена у вигляді мелкодисперсних аерозолів. Аерозолі вимиваються з атмосфери осіданнями й адсорбуються на поверхні землі. Такі явища називаються кислотними дощами. Водневий показник (рН) води кислотних дощів менше 5,6.

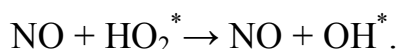
У перші моменти після викиду діоксиду сірки до атмосфери практично відсутні частки сірчаної кислоти й сульфатів. Із часом частка SO_2 у повітрі зме-

ншується, одночасно зростає частка сірки у вигляді H_2SO_4 і сульфатів. Кількість сірчаної кислоти в атмосфері досягає максимуму через 10 годин після викиду, а сульфатів – через 30–40 годин.

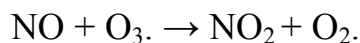
5.4 Трансформація сполук азоту

Сполуки азоту в атмосфері здебільшого представлені оксидами азоту, аміаком і солями амонію, а також азотною кислотою та нітритом.

Більшість природних та антропогенних викидів містять оксид азоту NO . У тропосфері NO , взаємодіючи з гідропероксил-радикалом, переходить у діоксид азоту:



Окислення оксиду азоту відбувається також унаслідок взаємодії з озоном:



Під дією сонячного випромінювання відбувається зворотна реакція – частина діоксиду азоту розкладається з утворенням оксиду азоту й атому кисню:



Атомарний кисень утворює в атмосфері озон.

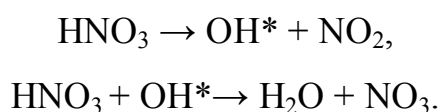
Унаслідок взаємодії діоксиду азоту з гідроксильним радикалом відбувається утворення азотної кислоти:



Утворення азотної кислоти за наведеною вище реакцією є важливою частиною атмосферного циклу сполук азоту. Близько 44 % HNO_3 у тропосфері утворюється внаслідок саме цієї реакції.

Основна кількість азотної кислоти виводиться з тропосфери з атмосферними осіданнями у вигляді розчинів HNO_3 та їхніх солей.

Частина азотної кислоти розкладається з утворенням діоксиду або триоксиду азоту, що знову уключаються до атмосферного циклу його сполук:



Серед нітратів, наявних в атмосфері, переважну більшість становить азотнокислий амоній NH_4NO_3 , який утворюється внаслідок взаємодії відповідних аерозолів кислот та аміаку. Сполуки амонію виводяться з атмосфери з атмосферними опадами й унаслідок процесів сухого осадження.

Варто зазначити, що оксиди азоту надходять до атмосфери у формі NO , який на подальших стадіях перетворюється на NO_2 . Двоокис є токсичнішою сполукою: $\text{ГДК}_{\text{NO}_2} = 0,2 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{NO}} = 0,4 \text{ мг/м}^3$. Цю обставину необхідно враховувати під час розробки заходів щодо захисту атмосферного повітря та проведенні відповідного перерахунку.

Наприклад, оксиди азоту в димових газах, що потрапляють до атмосфери з продуктами згорання палива, приблизно на 97 % складаються з NO . В атмосферному повітрі близько 80 % NO окислюється в NO_2 , тому склад викидів необхідно привести у відповідність із обліком перетворення частини NO в NO_2 .

Приклад.

Від нагрівальної печі до атмосфери викидаються оксиди азоту NO_x у кількості 100 г/с. Визначити кількість NO і NO_2 , що необхідно враховувати в атмосферному повітрі.

Розв'язання:

1. Кількість NO_2 , NO що міститься в масі NO_x димових газів:

$$M_{\text{NO}_2} = 100 \cdot 0,03 = 3 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{NO}} = 100 \cdot 0,97 = 97 \text{ г/с}.$$

2. Маса NO_2 , що утворюється під час трансформації NO :

$$M_{\text{NO}_2} = M_{\text{NO}} \cdot a \cdot (M_{(\text{NO}_2)} / M_{(\text{NO})}) = 97 \cdot 0,8 \cdot (46/30) = 119 \text{ г/с},$$

де a – частка NO , що окислюється в атмосферному повітрі в NO_2 ($a = 0,8$);

$M_{(\text{NO}_2)}$, $M_{(\text{NO})}$ – молекулярна маса двоокису і окислу азоту (46 і 30).

3. Загальна кількість NO_2 , яку необхідно враховувати під час розрахунків забруднення атмосфери

$$M_{\text{NO}_2} = 3 \text{ г/с} + 119 \text{ г/с} = 122 \text{ г/с}.$$

4. Загальна кількість NO , яку необхідно враховувати під час розрахунків забруднення атмосфери

$$M_{\text{NO}} = M_{\text{NO}} \cdot (1-a) = 97 \cdot (1-0,8) = 19,4 \text{ г/с}.$$

5. Загальна кількість NO_x в атмосферному повітрі в результаті трансформації

$$M_{\text{NO}_x} = M_{\text{NO}_2} + M_{\text{NO}} = 122 \text{ г/с} + 19,4 \text{ г/с} = 141,4 \text{ г/с}.$$

6 СМОГ І ЙОГО ВИДИ

Трансформація домішок в атмосфері може призвести до утворення смогу.

Смог (від англійських слів smoke – дим, fog – туман) – атмосферне явище, що утворюється за певних метеорологічних умов і високого ступеня забрудненості повітряного басейну. Розрізняють такі види смогів: фотохімічний, лондонський і крижаний.

6.1 Фотохімічний смог

Фотохімічний смог утворюється в ясну сонячну погоду, за низької вологості, температури вище +30 °С, повної відсутності вітру й високої забрудненості повітря. У разі фотохімічного смогу спостерігається поява блакитної димки або білого туману й спричинене цим погіршення видимості. Хімічними сполуками, що забезпечують такі властивості смогу, є озонід вуглецю та пероксиацїлнітрати (далі – ПАН), що утворюються внаслідок хімічних реакцій вуглеводнів, що перебувають у повітрі, із оксидами азоту та вуглецю під впливом сонячної радіації (фотохімічний ефект).

Смог спричиняє в людей роздратування органів слуху, хімічно діє як окислювач (підсилює корозію металів, призводить до розтріскування гуми).

Фотохімічний смог притаманний таким містам, як Дніпропетровськ, Донецьк, Запоріжжя.

6.2 Лондонський смог

Лондонський смог формується за вологості повітря близько 100 %, температурі 0° С, тривалій штильовій погоді й високій концентрації продуктів згоряння твердого й рідкого палива (SO₂, сажа, NO_x і CO). Спостерігається зазвичай в осінньо-зимовий період, властивий помірним широтам із вологим морським кліматом. Смог отримав свою назву після того, як у Великобританії відбулась у грудні 1952 р. катастрофічна ситуація, спричинена високою забрудненістю повітря та тривалим штилем протягом двох тижнів. У цей період різко підвищилася кількість легеневих і серцево-судинних захворювань, смертність збільшилася більше ніж у 10 разів. Подібні ситуації повторювалися у грудні 1956 та січні 1957 р. Унаслідок прийнятих заходів із обмеження пилогазових викидів, забруднення атмосферного повітря в Лондоні значно знизилось. Так, у період 1952–1970 рр. викиди сажі під час опалювання житлових

будинків скоротилися з 130 тис. т на рік до 10 тис. т, а від промислових підприємств із 50 тис. т до 5,0 тис. т у рік. Сильний туман, що утворився у грудні 1972 р. і висів над містом упродовж двох тижнів, цього разу не призвів до серйозних наслідків для населення.

Смог типу лондонського притаманний Маріуполю, Одесі й іншим приморським містам.

6.3 Крижаний смог

Крижаний смог властивий містам, розташованим у високих (північних) широтах. Він утворюється за температурах нижче -30°C , повному штилі, високій вологості повітря й наявності потужних джерел забруднення атмосфери. За низької температури крапельки водяної пари перетворюються на кришталіки льоду (розміром 5–10 мкм) і зависають у повітрі у вигляді густого білого туману, видимість зменшується до 8–10 м. На кришталіках льоду адсорбуються частинки та молекули пилогазових викидів, унаслідок чого кришталіки льоду опускаються до приземного шару. Дихання в такому тумані унеможлиблюється.

Україні крижаний смог не властивий.

7 ГОЛОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТІВОСТІ ПИЛУ ТА ГАЗІВ

7.1 Щільність пилу

Щільність пилу (часток) – маса одиниці об'єму, яка може бути істинною; така, що здається й насипною.

Дійсна щільність твердої частки визначається як відношення маси її речовини до займаного нею об'єму за вирахуванням об'єму пор і газових включень, які може мати частинка.

Щільність, що здається, визначається як відношення маси частки до займаного нею об'єму, включаючи об'єми пор і газових включень.

Для монолітних твердих і рідких часток щільність, що здається, співпадає з істинною.

Відчутне зменшення щільності, що здається, порівняно з істинною спостерігається в пилу, схильному до коагуляції, до спікання часток (сажа, оксиди кольорових металів тощо). Наприклад, дійсна щільність часток газової сажі становить 1,8–1,9 г/см³, а що здається – близько 0,13 г/см³.

Для розрахунків пиле- й золоуловлювальних апаратів використовують щільність, що здається, оскільки саме вона визначає поведінку часток у газових потоках.

Насипна щільність визначається відношенням маси свіжонасипаних твердих часток до об'єму, що вони займають; при цьому враховується наявність повітряних проміжків між частками.

Значення насипної щільності використовують для визначення об'єму бункерів газоочисних апаратів.

Зі збільшенням однорідності часток за розмірами їхня насипна щільність зменшується, оскільки збільшується відносний об'єм повітряних прошарків. Насипна щільність пилу, що злежався, виявляється у 1,2–1,5 разі більшою за свіжонасипану.

7.2 Дисперсний склад пилу та способи його завдання

Розміри часток золи та пилу характеризуються *дисперсним складом*.

Прийнято розрізняти:

1. Первинні розміри часток – типові для моменту їхнього виникнення,
2. Розміри агрегованих часток – утворюються за коагуляції в пилогазових трактах.
3. Розміри часток після виділення їх із газової фази (пластівці, грудочки).

Для перших двох випадків використовують поняття «*стоксівські розміри часток*» – розміри сферичної частки щільністю 1 г/см^3 , що має таку саму швидкість седиментації (осадження) у газовій фазі, як і дані несферичні частки або агрегати.

Фракція – відносна доля часток, розміри яких знаходяться в певному інтервалі значень, прийнятих як верхня й нижня межі.

Використовують три способи завдання дисперсного складу пилу:

- а) табличний;
- б) графічний;
- в) аналітичний.

7.2.1 Табличний спосіб

Табличне уявлення. Дисперсний склад може подаватися у вигляді таблиці з вказівкою:

- а) фракцій, виражених у відсотках від загальної маси (табл.7.1);
- а) долі часток із розміром більш (менш) наведеного (табл.7.2).

Таблиця 7.1 – Дисперсний склад золи Донецького вугілля

Розмір частки, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50	>50
Фракційний склад, %	12	20	30	12	8	5	13

Таблиця 7.2– Дисперсний склад золи Донецького вугілля

Розмір частки, мкм	>5	>10	>20	>30	>40	>50
Частка з розмірами більше наведеного, %	88	68	38	26	18	13

7.2.2 Графічний спосіб

Графічне уявлення. Дисперсний склад графічно може бути подаватися у вигляді:

- а) гістограми;
- б) диференціальної кривої;
- с) інтегральної кривої.

Гістограму (ступінчастий графік) будують, беручи рівномірний розподіл часток за розмірами всередині кожної фракції. За віссю абсцис відкладають розмір часток фракції, за віссю ординат – відсоток вмісту фракції.

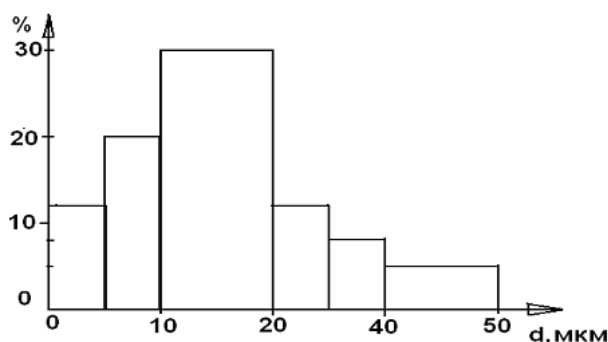


Рисунок 7.1 – Гістограма дисперсного складу золи Донецького вугілля

Диференціальна крива. Для побудови диференціальної кривої розподілу часток за розмірами необхідний:

- відсотковий уміст кожної фракції поділити на різницю граничних розмірів часток відповідної фракції;
- знайдені значення відкласти як ординати крапок, абсциси яких рівні середньому розмірові кожної фракції.

Таблиця 7.3 – Дані дисперсного складу для побудови диференціальної кривої

Розмір частки, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Фракційний склад, %	12	20	30	12	8	5
Ордината	$12/(5 - 0) = 2,4$	$20/(10 - 5) = 4$	$30/(20 - 10) = 3$	$12/(30 - 20) = 1,2$	$8/(40 - 30) = 0,8$	$5/(50 - 40) = 0,5$
Абсциса	$(0 + 5)/2 = 2,5$	$(10 + 5)/2 = 7,5$	$(10 + 20)/2 = 15$	$(20 + 30)/2 = 25$	$(30 + 40)/2 = 35$	$(40 + 50)/2 = 45$

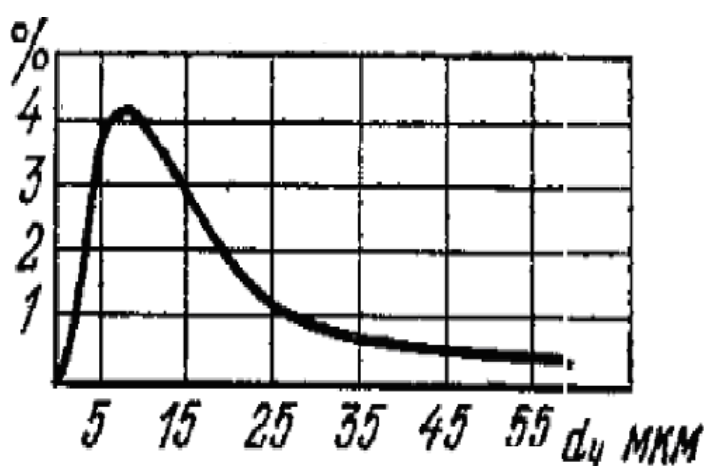


Рисунок 7.2 – Диференціальна крива розподілу часток за розмірами для золи Донецького вугілля

Інтегральна крива – найзручніша форма графічного відображення результатів дисперсного аналізу. Кожна точка кривої показує відносний уміст ча-

сток із розмірами більше $R(d_ч)$ або менше $D(d_ч)$ певного розміру. Крива $R(d_ч)$ побудована за даними таблиці 7.2.

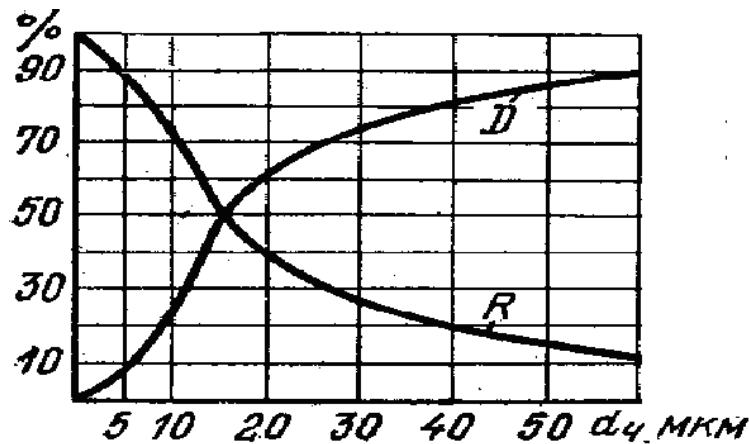


Рисунок 7.3 – Інтегральна крива розподілу часток за розмірами для золи Донецького вугілля:

R – вміст часток із розмірами більше певного розміру $d_ч$;

D – вміст часток із розмірами менше певного розміру $d_ч$

7.2.3 Аналітичний спосіб

Розподіл часток за розмірами в газових потоках із урахуванням їхньої агрегації здебільшого виявляється логарифмічно нормальним, навіть якщо розподіл первинних частинок не був таким.

Логарифмічно нормальний розподіл можна записати в такому вигляді:

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_ч} e^{-\frac{\lg^2(d_ч/d_m)}{2 \lg^2 \sigma_ч}},$$

де ξ – питомий вміст часток із розмірами $d_ч$;

d_m – медіанний розмір часток для даного розподілу (розмір, за якого кількість часток із розмірами більше d_m дорівнює кількості часток із розмірами менше d_m);

$\sigma_ч$ – середньоквадратичне відхилення у функції цього розподілу.

Інтегральна крива для часток із логарифмічно нормальним розподілом може бути записано у вигляді:

$$R(d_ч) = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_ч} \int_{+\infty}^{\lg d_ч} e^{-\frac{\lg^2(d_ч/d_m)}{2 \lg^2 \sigma_ч}} d(\lg d_ч).$$

Якщо підставити:

$$t = \frac{\lg(d_u / d_m)}{\lg \sigma_u},$$

то рівняння набуде такого вигляду:

$$R(d_u) = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_u} \int_{-\infty}^t e^{-t^2/2} dt,$$

де $R(d_u)$ – відносний уміст часток із розмірами більше ніж d_u .

Для часток із логарифмічно нормальним розподілом інтегральні криві розподілу часток за розмірами зручно будувати в імовірнісно-логарифмічній системі координат, у якій криві набувають вигляду прямих ліній. Для побудови такої системи координат за віссю абсцис у логарифмічному масштабі відкладають значення d_u , а за віссю ординат – значення $R(d_u)$ або $D(d_u)$.

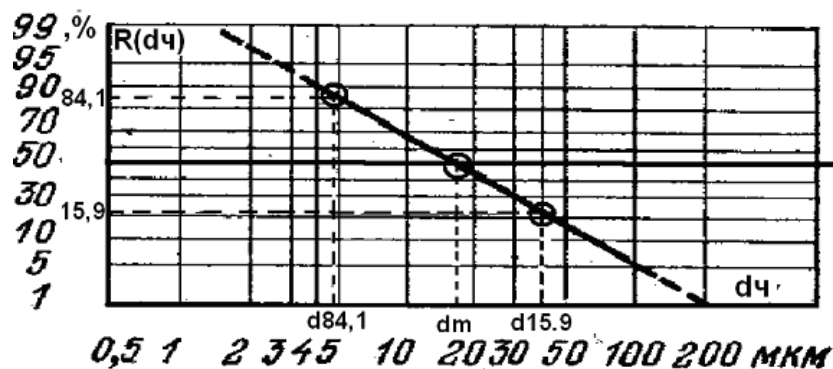


Рисунок 7.4 – Інтегральний розподіл часток за розмірами в імовірнісно-логарифмічній системі координат

У цьому разі функцію розподілу часток за розмірами можна виразити у вигляді двох параметрів: d_m і $\lg \sigma_u$.

Значенню d_m відповідає абсциса точки перетину отриманої прямої з лінією $R(d_u) = 50\%$.

Значення $\lg \sigma_u$ знаходять із виразу, який є властивістю інтегралу вірогідності:

$$\lg \sigma_u = \lg d_{15,9} - \lg d_m = \lg d_m - \lg d_{84,1},$$

де $\lg d_{84,1}$ і $\lg d_{15,9}$ – абсциси крапок, ординати яких мають значення 84,1 і 15,9 відповідно.

У разі порушення логарифмічно нормального розподілу, дисперсний склад в імовірнісно-логарифмічних координатах не буде виражений прямою лінією та не описуватиметься наведеними вище рівняннями. Для подібних випадків є низка інших формул.

7.3 Аутогезійні властивості пилу

Аутогезійні властивості (аутогезія – зліпання) – характеризують зчеплення часток пилу одна з однією.

Одним із найпоширеніших порушень, збоїв у роботі пилогазоочисного обладнання є часткове або повне забивання апаратів або їхніх окремих елементів продуктом, який уловлюється. Тому зліпання є головним критерієм визначення галузі застосування того або іншого типу пилоуловлювача.

Золу та пил умовно поділяють на чотири групи за ступенем зліпання. В основі поділу лежить значення розривної міцності (сили зчеплення між частками), спеціально сформованих пилових шарів (прилад Андріанова):

- 1) не злипаються, $P \leq 60$ Па; (глиноземна, доломітова);
- 2) слабо злипаються, $60 < P \leq 300$ Па;
- 3) середнє злипаються, $300 < P \leq 600$ Па;
- 4) сильно злипаються $P > 600$ Па (цементний пил із великим умістом води).

7.4 Сипкість пилу

Сипкість пилу (тісно співвідноситься з поняттям зліпання) є початковим параметром для визначення крутизни стінок бункерів пилогазоочисних апаратів і діаметрів випускних отворів.

Сипкість визначає *статичний і динамічний кути природного відкосу*.

Статичний кут природного відкосу $\alpha_{ст}$ утворюється внаслідок обвалу шару часток під час видалення підпірної стінки. Визначається за допомогою приладу – скляна прямокутна ємність, одна зі стінок якої знімається. У заповненій пилом ємності стінка віддаляється, частина пилу висипається. Пил, що залишився в ємності, має поверхню під певним кутом до горизонту. Цей кут є статичним кутом природного відкосу.

Динамічний кут природного відкосу $\alpha_{дин}$ становить кут між горизонтальною площиною та конусом, отриманим унаслідок насипання пилу на площину.

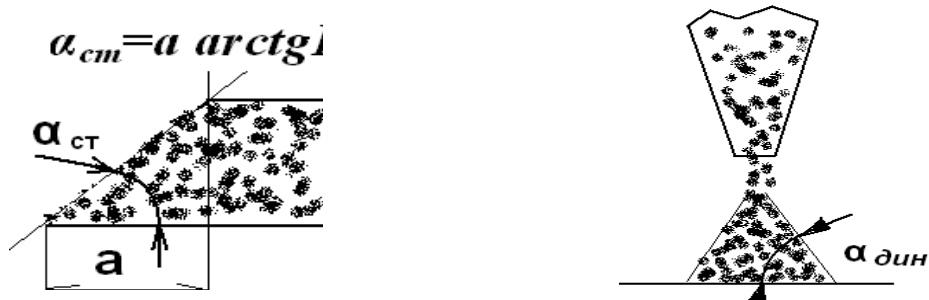


Рисунок 7.5 – Статичний і динамічний кут природного відкосу

7.5 Абразивність пилу

Абразивність пилу – визначає зношення внутрішніх поверхонь пилогазоочисних апаратів. Залежить від твердості, розміру, щільності та форми часток. Оцінюється за *коефіцієнтом абразивності* – визначається втратою ваги зразка, що стирається частками, зваженими в потоці газу (повітря).

7.6 Електричні властивості пилу

Питомий електричний опір (ПЕО) [Ом * м] шару пилу – омичний опір куба пилу із стороною, що дорівнює 1 м, проходженню електричного струму. ПЕО пилу впливає на ефективність роботи обладнання електричного очищення газів, залежить від фізико-хімічних властивостей пилу, температури, вологості.

Електричний заряд часток (далі *ЕЗЧ*) – характеризується ідеальним надмірним зарядом на одиницю маси пилу [Ку/г]. *ЕЗЧ* впливає на ефективність уловлювання частинок, аутогезійні властивості й вибухонебезпеку пилу. Частинки пилу можуть набувати заряду під час адсорбції іонів природного походження, тертя один з одним або об стінки газопроводів.

7.7 Змочуваність пилу

Змочуваність пилу (далі *ЗП*)(%) – характеризує її здатність змочуватися водою. Визначають шляхом вимірювання частки змоченого та такого, що занурився на дно судини, порошку, насипаного тонким шаром на поверхню води (*метод плівкової флотації*). *ЗП* впливає на роботу мокрих пиловловлювачів. Під час зіткнення з поверхнею рідини, незмочувані частки залишаються на поверхні, а змочувані занурюються в рідину (гідрофобні та гідрофільні частки). Після заповнення поверхні рідини порошинками очищення газів погіршується, оскільки внаслідок пружного зіткнення (із частками, що раніше осіли на поверхні рідини) частки пилу повертаються до потоку газу й виявляються невловленими.

За змочуваністю пил розподіляють на три групи:

- 1) не змочувані – 0–30 %;
- 2) середньо змочувані – 30–80 %;
- 3) добре змочувані – 80–100 %.

7.8 Пожежо- та вибухонебезпечні властивості пилу

Багато видів пилу через сильно розвинену поверхню часток мають здатність горіти, займатися й утворювати з повітрям пожежо- та вибухонебезпечні суміші. Подібні властивості спостерігають навіть у тому разі, коли початковий матеріал, із якого отримано пил, є негорючим.

Головними характеристиками пожежо- та вибухонебезпечних властивостей пилу є такі:

1. Температура займання – найменша температура горючої речовини, за якої швидкості виділення горючої пари забезпечує стійке горіння після займання від зовнішнього джерела.

2. Температура самозаймання – найменша температура (суміш пилу з повітрям) за якої відбувається різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій, що призводить до виникнення полум'яного горіння.

Пил, зважений у повітрі, може запалати тільки за певних концентраціях.

3. Діапазон займання – діапазон концентрацій між верхньою та нижньою межами займання аеросупензій твердих речовин у повітрі.

Займання розрізняють за швидкістю розповсюдження фронту полум'я: покійне полум'я – 4–10 м/с; вибух – >100 м/с; детонація – >1 000 м/с.

Вибух характеризується максимальним тиском (P_{\max}), який виникає під час вибуху найбільш пожежо-, вибухонебезпечній суміші в замкненій ємності. P_{\max} використовують під час розрахунку обладнання на вибухостійкість. Вибух може бути *первинним і вторинним*.

Первинний вибух – при найбільших скупченнях пилу поблизу джерела займання.

Вторинний вибух – вибух пилу, піднятого в повітря первинним вибухом.

8 ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ

Газами, що підлягають очищенню здебільшого, є повітря або димові гази. Властивості газів характеризуються такими параметрами:

- хімічний склад;
- температура;
- тиск;
- в'язкість;
- щільність;
- питома теплоємність;
- ентальпія;
- вологість;
- запиленість;
- витрата (масова або об'ємна).

Щільність, в'язкість, теплоємність, газова постійна й інші істотні показники для процесів пило- й золоуловлювання для повітря та для димових газів, мало відрізняються між собою. Тому за відсутності даних для димових газів значення перерахованих величин можуть прийматися за табличними даними для повітря.

8.1 Способи завдання компонентного складу газів

Хімічний склад. Компонентний склад суміші газів може задаватися масовими або об'ємними частками (або відсотками). Для визначення й перерахунку цих величин використовують такі співвідношення:

$$g_i = \frac{G_i}{G_{см}} = \frac{V_i \rho_i}{V_{см} \rho_{см}} = r_i \frac{\rho_i}{\rho_{см}} = r_i \frac{M_i}{M_{см}}$$

$$r_i = \frac{V_i}{V_{см}} = \frac{\frac{G_i}{\rho_i}}{\frac{G_{см}}{\rho_{см}}} = \frac{G_i}{G_{см}} \cdot \frac{\rho_{см}}{\rho_i} = g_i \cdot \frac{\rho_{см}}{\rho_i} = g_i \cdot \frac{M_{см}}{M_i}$$

де G_i , V_i , ρ_i , M_i – маса, об'єм, щільність, молекулярна маса i -го компоненту газової суміші відповідно;

$G_{см}$, $V_{см}$, $\rho_{см}$, $M_{см}$ – маса, об'єм, щільність, молекулярна маса газової суміші відповідно;

g_i , r_i – масова та об'ємна частка i -го компоненту суміші відповідно.

8.2 Щільність, в'язкість і теплоємність суміші газів

Щільність(ρ), в'язкість(μ) і теплоємність(C) суміші газів, що складається з n компонентів, концентрації яких відомі, знаходять за співвідношеннями:

$$\rho_{см} = r_1\rho_1 + r_2\rho_2 + \dots + r_n\rho_n, \text{ кг/м}^3,$$

$$\mu_{см} = \rho_{см} \left(\frac{\mu_1}{r_1\rho_1} + \frac{\mu_2}{r_2\rho_2} + \dots + \frac{\mu_n}{r_n\rho_n} \right), \text{ н} \cdot \text{с/м}^2;$$

$$C_g = g_1C_1 + g_2C_2 + \dots + g_nC_n, \text{ Дж/кг} \cdot \text{ }^\circ\text{К} \text{ (завдання складу масовими частками);}$$

$$C_r = r_1C_1^I + r_2C_2^I + \dots + r_nC_n^I, \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{К} \text{ (завдання складу об'ємними частками)}$$

Теплоємність (питома теплоємність) – кількість тепла, яка необхідна для нагрівання одиниці кількості речовини (1 кг, 1 м³, 1 кмоль) на 1 °К.

Кількість газу може виражатися в кг, м³, моль. Відповідно, теплоємність може бути:

C – масова, Дж/кг К;

C^I – об'ємна, Дж/м³ К;

C^u – молярна, Дж/кмоль К.

Розрізняють теплоємність при постійному тиску (ізобарна) – C_p та постійному об'ємі C_v (ізохорна). $C_p > C_v$.

Теплоємність реальних газів залежить від температури та тиску. На практиці, під час проведенні розрахунків, теплоємність можна вважати постійною.

Щільність і в'язкість димових газів під час спалювання палив (із достатньою для практичних розрахунків точністю) можна прийняти рівними щільності й в'язкості повітря при тих самих значеннях температури та тиску.

Ентальпія(i) – кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання 1 кг речовини від 0° С до заданого значення при постійному тиску:

$$i = C_p t .$$

Кількість тепла Q , що передається 1 кг газу при постійному тиску дорівнює різниці ентальпій початкового і кінцевого станів газу:

$$Q = i_2 - i_1$$

8.3 Вологість газів і способи її завдання.

Зв'язок між параметрами вологого повітря, *i-d*-діаграма

Водяна пара практично завжди присутня в повітрі та димових газах. Вологість газів можна задати п'ятьма способами.

1. Концентрацією водяної пари, віднесеною до 1 м^3 газу:

а) f , г/м^3 – сухий газ за нормальних умов: 0°С , $101,3\text{ кПа}$.

б) f^I , г/см^3 – вологий газ за нормальних умов: 0°С , $101,3\text{ кПа}$.

в) f^{II} , г/см^3 – вологий газ при фактичній температурі та тиску.

2. Парціальним тиском водяної пари (P_w) – добуток об'ємної частки пари (r) на загальний тиск суміші (P):

$$P_w = r \cdot P, \text{ Па}$$

3. Об'ємним відсотком:

$$r_{\%} = \frac{P_w}{P} 100, \%$$

4. Абсолютною вологістю (d) – кількістю водяної пари ($G_{вп}$), віднесена до одиниці маси сухого газу ($G_{сг}$):

$$d = \frac{G_{вп}}{G_{сг}}, \text{ кг.Н}_2\text{О} / \text{ кг.сух.газу}$$

5. Відносною вологістю (φ) – ступінь наближення до насиченого стану за рівних умов (відношення кількості водяної пари за рівних умов до кількості водяної пари у разі насичення для тих самих умов):

$$\varphi = \frac{f^{II}}{f^{II}_{нас}} = \frac{f^I}{f^I_{нас}} = \frac{P_w}{P_{w...нас}}$$

Зв'язок між різними способами завдання вологості виражається такими співвідношеннями:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f^I} - \frac{1}{804}; \quad f^I = 804 \frac{P_w}{P};$$
$$f^{II} = \frac{0,36P}{(273+t) \left[\left(\frac{1}{f} \right) + \left(\frac{1}{804} \right) \right]}$$

У розрахунках часто використовують поняття «Точка роси».

Точка роси – це температура, за якої газ перебуває у стані насичення парами води або іншої рідини й за якої починається випадіння конденсату.

Найпоширенішою рідиною, що конденсується, у димових газах є сірчана кислота. Кислота утворюється під час спалювання вугілля й інших сірковмісних палив унаслідок реакції оксидів сірки з парами води.

Якщо вологість газів задана, то їхня щільність може визначатися за формулами:

$$\rho_{овл} = \frac{\rho_{осух} + f}{1 + \frac{f}{0,804}}, \text{ кг / м}^3$$

де $\rho_{осух}$ – щільність сухого газу за нормальних умов;

0,804 – щільність водяної пари за нормальних умов кг/м^3

Зв'язок між параметрами вологого повітря можна визначити за допомогою «*i-d*» діаграми (рис. 8.1). Ця діаграма дозволяє швидко визначати параметри вологого повітря.

У «*i-d*»-діаграмі (рис. 8.1) по вісі абсцис відкладається вологомiсткість d (г/кг сухого повітря), а за вісю ординат – ентальпія i (кДж/кг сухого повітря). Лінії $d = const$ розташовуються вертикально, а лінії $I = const$ – під кутом 45° (діаграма побудована в косокутній системі координат з кутом між вісями 135°).

Лініями $\varphi = const$ є криві, що розходяться, опуклістю до гори. Лінія насичення $\varphi = 100\%$, що характеризує стан насиченого вологого повітря, поділяє діаграму на дві частини: вище за лінією розташована галузь ненасиченого вологого повітря, що є основною, робочою частиною діаграми, нижче – галузь пересиченого вологого повітря (тут надмірна волога перебуває у краплинному стані).

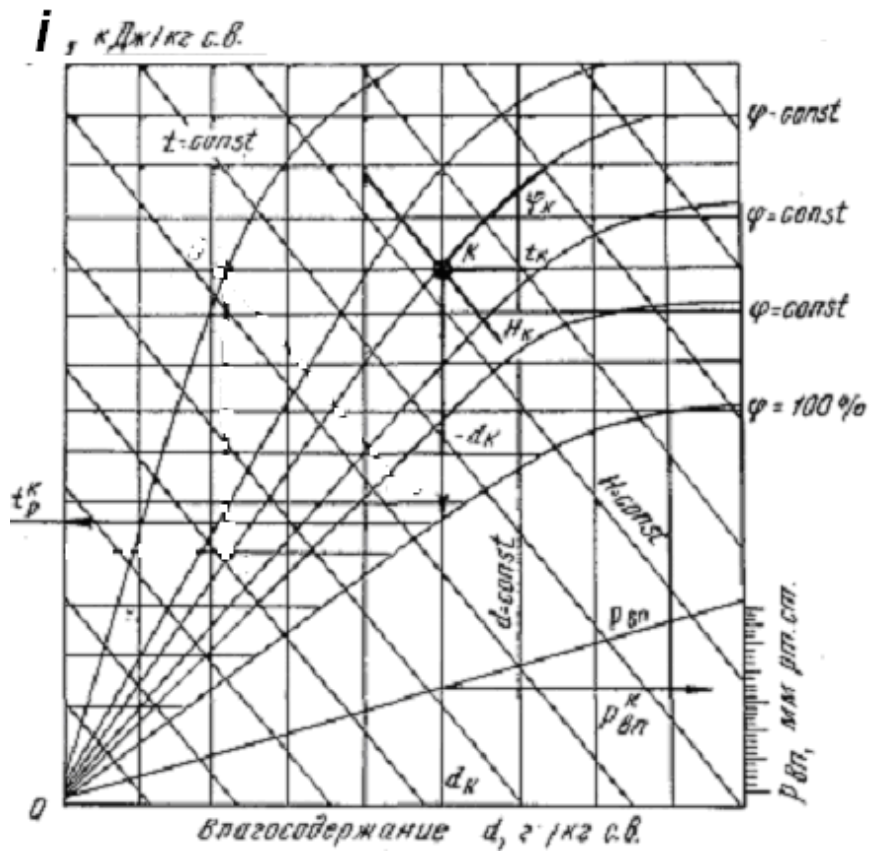


Рисунок 8.1 – « i - d »-діаграма вологого повітря

Будь-яка точка на діаграмі позначає певний фізичний стан вологого повітря.

Діаграма дає змогу за відомих температур (t_K) та відносної вологості (φ_K) знайти значення ентальпії (i_K), вологовмісту (d_K), парціального тиску водяної пари ($p_{\text{вп}}^K$) і температуру «точки роси» (t_p^K). Визначення цих величин для точки К наведено на « i - d »-діаграмі (рис. 8.1).

ДЖЕРЕЛА УТВОРЕННЯ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН

9 ОСНОВИ УТВОРЕННЯ АЕРОЗОЛЕЙ І ГАЗОПОДІБНИХ ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРИ

Пил, який міститься в атмосфері можна класифікувати по часу та формі її утворення:

- первинне пилоутворення – пил, яка викидається в атмосферу в результаті будь якого природного або антропогенного процесу;
- вторинне пилоутворення – пил, який утворюється в атмосфері з рідких або газоподібних речовин в результаті хімічних або фізичних переутворень;
- поверхневе пиління – перехід пилу, який зформувався на поверхні землі в атмосферу.

Антропогенні джерела первинного пилоутворення виникають в результаті наступних процесів:

- механічна обробка різних речовин (дробління, шліфування, різання);
- транспортування зернистих матеріалів (погрузка, просіювання, перемішування);
- теплові процеси та процеси горіння (спалювання, сушка, плавлення);
- інос і руйнування речовин (тормозні колодки автомобіля, абразивний круг заточувального станка).

Рідкі забруднення утворюються:

- при конденсації пару;
- при розпилюванні та розливі рідин;
- в результаті хімічних або фотохімічних реакцій.

Конденсація пару відбувається в результаті охолодження його навколишнім атмосферним повітрям. В залежності від точки плавлення сконденсований пар може переходити в тверді частки.

Утворювання *газоподібних забруднень* характерно для таких хімічних реакцій, як:

- окислення;
- відновлення;
- заміщення;
- розкладання.

А також для процесів:

- електролізу;
- випаровування;
- дистиляції.

Найбільшу частину газоподібних викидів складають продукти окислення, які утворилися в процесі згоряння:

- під час окислення вуглецю утворюється CO и CO₂ ;
- під час окислення сірки – SO₂;
- під час окислення азоту – NO и NO₂;
- при неповному згорянні не відбувається окислення органічних речовин і можуть утворюватися альдегіди або органічні кислоти.

10 ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ОБ'ЄКТАМИ ЕНЕРГЕТИКИ

Енергетика – виробництво електроенергії і тепла (енергії). Виробництво енергії відбувається:

- 1) на теплових електростанціях;
- 2) на гідроенергетичних станціях;
- 3) на атомних енергетичних станціях;
- 4) на сонячних, вітрових, геотермальних та станціях, які використовують енергію приливів (альтернативні джерела).

Основним джерелом забруднення атмосфери є теплові електростанції.

Очікуване в найближчий час виснаження запасів нафти та газів ставить перед енергетиками задачу розширення частки використання твердого палива, особливо вуглей та сланців низької якості, запасів яких вистачить на довгий час. Ці види палива мають понижено теплоутворну здатність, підвищену зольність і вміст сірки. Тому в енергетиці намічається тенденція збільшення викидів забруднювальних речовин в атмосферу.

Під час спалювання вугілля середня запиленість газів складає 10–50 г/м³.

А хімічний склад пилу (золи) сильно залежить від родовища вугілля, товщини пласта, вмісту у вугіллі пустої породи.

Пил складає, як правило, з SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O. Додатково може містити мікродомішки сполук ванадія, ртуті, свинцю, арсена, радіоактивні і канцерогенні речовини.

Дисперсний склад пилу залежить від способу помолу і марки вугля. Розмір часток коливається від 5 до 60 мкм.

Димові гази містять SO₂, який утворюється в результаті окислення сірки, яка міститься в паливі.

Вміст сірки у вугіллі коливається в межах від 0,3 до 8 %. Концентрація SO₂ в димових газах залежить від вмісту сірки у вугіллі, коефіцієнта надлишку повітря в топці котла, визначається за матеріальним балансом.

Оксиди азоту утворюються в топці котла в результаті взаємодії при високій температурі азоту та кисню, які містяться в повітрі. Концентрація оксидів азоту в димових газах залежить від максимальної температури в топці.

Угарний газ CO в димових газах утворюється в результаті неповного згоряння палива.

Під час спалювання мазута запиленість димових газів складає 20–50 мг/м³.

Димові гази містять SO₂, концентрація якого залежить від вмісту сірки в мазуті й може коливатися в межах від 0,3 до 2,8 %. Аналогічно мають місце утворення й викиди NO_x і CO.

Під час спалювання природного газу викиди золи і сполук сірки незначні. Також мають місце утворення й викиди NO_x і CO .

Шкідливі домішки продуктів згоряння по походженню класифікують на 3 групи:

1. Домішки, якість яких залежить від складу палива – SO_2 , V_2O_5 , зола.
2. Домішки, утворення яких залежить від технології спалювання NO_x , CO , H_2S , бенз(а)пірен.
3. Інші джерела, які не пов'язані зі спалюванням:
 - пиління золівідвалів;
 - випарювання вуглеводнів під час зберігання та переливі мазута.

10.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від енергетичних установок

Визначення валових викидів забруднювальних речовин (інвентаризація) може проводитися розрахунковим методом через показники емісії або шляхом постійних вимірювань. Приоритет має визначення валових викидів шляхом постійних вимірювань з використанням приборів безперервного моніторингу вмісту речовини в димових газах.

При відсутності такої можливості валові викиди визначаються на підставі розрахунків. Розрахункові методи визначення викидів забруднювальних речовин базуються на використанні показника емісії. Показник емісії характеризує масову кількість забруднювальної речовини, яка викидається із енергетичної установки в атмосферу, віднесена до одиниці енергії, яка виділяється під час згоряння палива.

Під час згоряння органічного палива в енергетичних установках розрахунку підлягають викиди в атмосферне повітря наступних забруднювальних речовин: речовини у вигляді суспензованих твердих часток; оксиди сірки; оксиди азоту; окис вуглецю; важкі метали та їх сполуки.

Валові викиди забруднювальних речовин, які потрапляють в атмосферу разом з димовими газами, визначаються як сума валових викидів цієї речовини від усіх видів палива, які були використані.

Узагальнений показник емісії забруднювальної речовини є середньою питомою величиною викидів для певної категорії енергетичних установок, певної технології паління палива, певного виду палива з урахуванням заходів зі зниження викидів забруднювальної речовини. Він не враховує особливості хімічного складу палива.

Специфічний показник емісії є питомою величиною викидів, яка визначається для конкретної енергетичної установки з урахуванням індивідуальних

характеристик палива, конкретних характеристик процесу паління та заходів із зменшення викидів забруднювальних речовин.

За наявності обох показників емісії забруднювальної речовини необхідно використовувати *специфічний*.

Валовий викид j -го забруднювальної речовини E_j , т, що потрапляє в атмосферу з димовими газами від енергетичної установки, визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, в тому числі під час їх одночасного загального спалювання:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad (10.1)$$

де E_{ji} – валовий викид j -ї забруднювальної речовини під час спалювання i -го палива, т;

k_{ji} – показник емісії j -ї забруднювальної речовини для i -го палива, г/ГДж;

B_i – витрата i -го палива, т;

$(Q_i^r)_i$ – низша робоча теплота згоряння i -го палива, МДж/кг.

10.1.1 Розрахунок показника емісії твердих часток

Показник емісії речовини у вигляді суспензованих твердих часток (далі – твердих часток) визначається як специфічний й розраховується за формулою:

$$k_{mv} = \frac{10^6}{Q_i^r} \left(a_{вих} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_c} \right) (1 - \eta_{zy}) + k_{mvS},$$

де k_{mv} – показник емісії твердих часток, г/ГДж;

Q_i^r – низша робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу %;

$a_{вих}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді летучої золи;

Q_c – теплота згоряння вуглецю до CO_2 , яка дорівнює 32,68 МДж/кг;

q_4 – втрати тепла, які пов'язні з механічним недоспалюванням палива %;

η_{zy} – ефективність очистки димових газів від твердих часток;

k_{mvS} – показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбента та оксидів сірки й твердих часток сорбента, г/ГДж.

Найнижчу робочу теплоту згоряння палива Q^r_i та масовий вміст золи у паливі A^r визначають за характеристиками палива, яке спалюється (табл. 10.1).

Частка золи, яка виходить з котла у вигляді летучої золи $a_{вих}$, залежить від технології спалювання палива і визначається або експериментально, або за паспортними даними установки. За відсутності цих даних $a_{вих}$ приймають з таблиці 10.2.

Таблиця 10.1– Характеристики палив

Марка вугілля	Волоість	Зольність	Вміст сірки	Низша теплота згоряння, МДж/кг
Антрацитовий штиб АШ	8,5	30,0	1,9	16,39
Тощі вуглі ТР	6,0	25,0	2,7	24,07
Донецький газовий ГР	10,0	28,0	3,5	20,47
Донецький довгополум'яний ДР	13,0	28,0	3,5	18,50
Львівсько–Волинський ГР	10,0	23,0	3,4	21,4
Александрівський бурій БІР	56,7	34,2	4,6	5,0
Мазут малосірчаний	–	0,1	0,5	40,30
Мазут сірчаний	–	0,1	1,9	39,85
Мазут високосірчаний	–	0,1	4,1	38,89

Таблиця 10.2 – Частка летучої золи $a_{вих}$ та втрати тепла від механічної неповноти згоряння q_4 при різних технологіях спалювання

Технологія спалювання	$a_{вих}, \%$		$q_4, \%$		
	Вугілля	Мазут	Кам'яне вугілля	Антрацити	Мазут
З твердим (сухим) шлаковидаленням	0,95	1	1,5	1	0
Відкрита топка з рідким шлаковидаленням	0,80	1	0,5	0,5	0
Двокамерна топка з вертикальним передтопком	0,30	1	0,5	0,2	0
Двокамерна топка горизонтальна циклонна	0,15	1	1	0,2	0
Топка з циркулюючим киплящим шаром	0,50	–	–	–	–
Топка з нерухомим шаром	0,15	–	–	–	–

Ефективність очистки димових газів от твердих частиц η_{zy} визначається або експериментально, або за паспортними даними установки.

Під час використання сорбента для зв'язування оксидів сірки в топці котла (наприклад, за технологіями спалювання палива у киплящому шарі або за використанням технологій сухого або напівсухого зв'язування сірки) утворюються тверді частки сульфата і сульфїта та невикористованого сорбента. Показник емісії твердих часток невикористованого в енергетичній установці сорбента і утворених сульфатів і сульфїтів $k_{m\delta S}$ (г/ГДж) розраховують за формулою:

$$k_{m\delta S} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{S^r}{100} \left[\eta_1 \frac{\mu_{prod}}{\mu_S} + (m - \eta_1) \frac{\mu_{сorb}}{\mu_S} \right] a_{вих} (1 - \eta_{zy}),$$

де Q_i^r – низша робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

S^r – вміст сірки в паливі на робочую масу, %;

$a_{вих}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді летучої золи;

μ_{prod} – молекулярна маса твердого продукта взаємодії сорбента і оксидів сірки, кг/кмоль;

$\mu_{сorb}$ – молекулярна маса сорбента, кг/моль;

μ_S – молекулярна маса сірки, яка дорівнює 32, кг/моль;

m – мольне співвідношення активного хімічного елемента сорбента і сірки (табл. 10.3);

η_1 – ефективність зв'язування сірки сорбентом в топці або при використанні методів десульфурзації димових газів (табл. 10.3, 10.4):

η_{zy} – ефективність очистки газів від твердих часток.

Таблиця 10.3 – Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом в топці

Технологія спалювання	η_1	Примітка
Факельне спалювання вугілля в котлах з рідким шлаковидаленням	0,05	Связывание золой топлива
Факельне спалювання вугілля в котлах с твердим шлаковидаленням	0,1	Те само
Факельне спалювання мазута в котлах	0,02'	Те само
Спалювання у киплящому шарі, сухе (полусухе) зв'язування сірки СаО	0,95	Зв'язування сорбентом в котлі при мольному співвідношенні Са/S m = 2,5

Таблиця 10.4 – Ефективність та коефіцієнт роботи сіркоочисної установки

Технологія десульфурації димових газів	Параметри установки сіркоочистки	
	η_{11}	β
Мокре очищення в скрубєрі з використанням вапняку або доломіту з отриманням гіпсу	0,95	0,99
Мокре очищення – процес Вельмана – Лорда з використанням солей натрію	0,97	0,99
Мокре очищення – процес Вальтера з використанням аміачної води	0,88	0,99
Сухе очищення – адсорбція активірованим вуглем	0,95	0,99

10.1.2 Розрахунок показника емісії діюкиду сірки

Показник емісії діюкиду сірки розраховують за формулою:

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_1)(1 - \eta_{11}\beta),$$

де Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг; (табл. 10.1);

S^r – вміст сірки в паливі на робочую масу, % (табл. 10.1);

η_1 – ефективність з'язування сірки золою або сорбентом (табл. 10.3);

η_{11} – ефективність очистки димових газів від оксидів сірки;

β – коефіцієнт роботи сіркоочисної установки.

Коефіцієнт роботи сіркоочисної установки β визначається як співвідношення часу роботи сіркоочисної установки до часу роботи енергетичної установки. Коефіцієнт β визначається при аналізі даних про роботу очисної і енергетичної установок в цілому. При відсутності таких даних значення ефективності сіркоочистки димових газів η_{11} і коефіцієнта роботи сіркоочисної установки β за різними технологіями десульфурації приймаються згідно таблиці 10.4 .

До установок десульфурації димових газів відносяться і деякі види золоуловлювачів. Для електростатичних фільтрів и циклонів ефективність уловлювання оксидів сірки дорівнює нулю. Для мокрих золоуловлюючих установок – мокрих скрубберів – величина η_{11} залежить від загальної лужності води на зрошення та від вмісту сірки в паливі S^r . Приведений вміст сірки S^l визначається як співвідношення масового вмісту сірки (на робочу масу палива) до нижчої робочої теплоти згоряння палива ($S^l = S^r/Q_i^r$). Дані про ефективність уловлювання оксидів сірки в мокрих скруберах приведені в таблиці 10.5.

Таблиця 10.5 – Ефективність уловлювання оксидів сірки під час золоуловлювання в мокрому скрубєрі

Приведений вміст сірки, %/(МДж/кг)	Лужність зрошувальної води, мг-екв/л		
	0	5	10
1,00	2	3	4
0,01	0,025	0,145	0,300
0,02	0,022	0,085	0,168
0,03	0,019 5	0,052	0,101
0,04	0,018	0,039	0,066
0,05	0,017 5	0,030	0,052
0,06	0,017	0,026	0,043
0,07	0,016 5	0,021 5	0,035
0,08	0,016	0,020	0,030
0,09	0,0155	0,019	0,027 5
0,10	0,015	0,018	0,023
0,11	0,014 5	0,017	0,020 5
0,12	0,013 5	0,016	0,020
0,13	0,013	0,015	0,018 5
0,18	0,012	0,012	0,012

10.1.3 Розрахунок показника емісії оксидів азоту

При згорянні органічного палива утворюються оксиди азота NO_x (оксид азота NO і діоксид азота NO_2), викиди яких визначаються в перерахунку на NO_2 .

Показник емісії оксидів азота k_{NO_x} , г/ГДж, з урахуванням заходів по зменшенню викидів розраховується за формулою:

$$k_{\text{NO}_x} = k_{(\text{NO}_x)_0} f_n (1 - \eta_1)(1 - \eta_{11} \beta),$$

де $k_{(\text{NO}_x)_0}$ – показник емісії оксидів азота без урахування заходів по зменшенню викидів, г/ГДж;

f_n – ступінь зменшення викидів під час роботи при низькому навантаженні;

η_1 – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів по зменшенню викидів;

η_{11} – ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки);

β – коефіцієнт роботи азотоочисної установки.

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксидів азота визначають на підставі результатів випробувань енергетичної установки.

Узагальнений показник емісії оксидів азота $k_{(NO_x)_o}$ під час спалювання органічного палива за різними технологіями без урахування заходів по зменшенню викидів NO_x , визначається згідно таблиці 10.6.

Таблиця 10.6 – Показник емісії оксидів азоту без урахування первинних заходів $k_{(NO_x)_o}$

Технологія спалювання	Тверде паливо	Мазут	Природний газ
1	2	3	4
Факельне спалювання: Теплова потужність котла ≥ 300 МВт:	–	200	150
із рідким шлаковидаленням при спалюванні антрациту	420	–	–
із рідким шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	250	–	–
із твердим шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	230	–	–
Факельне спалювання: потужність котла < 300 МВт:		140	
із рідким шлаковидаленням при спалюванні антрацита	250	–	–
із рідким шлаковидаленням при спалюванні каменного вугілля	180	–	–
з твердим шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	160	–	–
із горизонтальною циклонною топкою для кам'яного вугілля	480	–	–

Під час роботи енергетичної установки при низьких навантаженнях зменшується температура процесу згоряння палива, завдяки чому зменшуються викиди оксидів азота. Ступінь зменшення викидів NO_x , f_n при цьому визначається за емпіричною формулою:

$$f_n = (Q_\phi / Q_n)^z,$$

де Q_ϕ – фактична теплова потужність енергетичної установки, МВт;

Q_n – номінальна теплова потужність енергетичної установки, МВт;

Z – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива та інші.

Для парових котлів теплова потужність Q_n залежить від паропродуктивності D_o , параметрів пари та інших характеристик котла. Теплову потужність Q_n , *MВт* на підставі даних про його паропродуктивність D_o розраховують за формулою:

$$Q_n = D_o / w,$$

де D_o – паропродуктивність парового котла, т/год;

w – відношення паропродуктивності до теплової потужності котла, т/(год МВт).

Значення w приймається з таблиці 10.7.

Таблиця 10.7 – Коефіцієнт w – відношення паропродуктивності котла D_o до його теплової потужності Q

Обладнання	Значення w
Котел із тиском свіжої пари $P_o > 13,8$ МПа (при $D_o \geq 500$ т/год з проміжним перегрівом)	1,35
Котел із тиском пари $9,8 \text{ МПа} \leq P_o \leq 13,8$ МПа (при $D_o < 500$ т/год без проміжного перегріву)	1,45
Котел з тиском пари $1,4 \text{ МПа} < P_o < 9,8$ МПа (при $D_o = 6,5 - 75$ т / год для перегрітої пари) без проміжного перегріву	1,35
Котел з тиском пари $P_o \leq 1,4$ МПа (при $D_o \leq 20$ т/год для насиченої пари) без проміжного перегріву	1,5

Емпіричний коефіцієнт Z визначається за час випробувань енергетичної установки. При їх відсутності значення Z береться з таблиці 10.8.

Таблиця 10.8 – Значення емпіричного коефіцієнта z

Теплова потужність (паропродуктивність) котельної установки	Тверде паливо	Природний газ, мазут
Паровий котел 140 МВт і вище (200 т/рік і вище)	1,15	1,25
Паровий котел від 22 МВт до 140 МВт (віт 30 до 200 т/рік)	1,15	1,25
Водогрійний котел	1,15	1,25

Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовані на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згоряння енергетичної установки. Перелік та орієнтовні значення ефективності первинних заходів η_1 зменшення викидів оксидів азота приведені в таблиці 10.9.

Таблиця 10.9 – Ефективність первинних заходів зі зменшення викидів NO_x

Тип первинних заходів	Ефективність заходу, η_1
1	2
Малотоксичні пальники	0,20
Ступінчаста подача повітря	0,30
Подача третинного повітря	0,20
Рециркуляція димових газів	0,10
Триступінчаста подача повітря та палива	0,35
Малотоксичні пальники + ступінчаста подача повітря	0,45
Малотоксичні пальники + подача третинного повітря	0,40
Малотоксичні пальники + рециркуляція димових газів	0,30
Ступінчаста подача повітря + подача третинного повітря	0,45
Ступінчаста подача повітря + рециркуляція димових газів	0,40
Малотоксичні пальники + ступінчаста подача повітря + рециркуляція димових газів	0,50
Малотоксичні пальники + ступінчаста подача повітря + подача третинного повітря	0,60

За неможливості досягти за допомогою первинних заходів необхідного зменшення концентрації оксидів азоту в димових газах використовують очисні установки. Значення ефективності η_{11} і коефіцієнта роботи азотоочисної установки β (відношення часу роботи азотоочисної установки до часу роботи енергетичної установки) визначають під час випробувань, а при їх відсутності – згідно таблиці 10.10.

Таблиця 10.10 – Ефективність і коефіцієнти робіт установки очистки газів від NO_x

Технологія очистки газів від NO_x	Ефективність η_{11}	Коефіцієнт роботи β
Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	0,5	0,99
Селективне некаталітичне відновлення (СКВ)	0,8	0,99
Активоване вугілля	0,7	0,99
Процес DESONOX – SNOX	0,95	0,99

10.1.4 Розрахунок показника емісії оксиду вуглецю

Утворення оксиду вуглецю CO є результатом неповного згоряння вуглецю органічного палива. Зі зменшенням потужності енергетичної установки концентрація CO в димових газах росте.

Основним методом визначення викидів оксиду вуглецю є вимірювання його концентрації. При відсутності постійних вимірюваних концентрації CO його валові викиди розраховують за формулою (10.1) з використанням усереднених показників емісії CO в залежності від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання. Усереднені показників емісії CO представлені в таблиці 10.11.

Таблиця 10.11 – Показники емісії оксиду вуглецю k_{CO}

Технологія спалювання палива	Вид палива		
	Тверде паливо	Мазут	Природний газ
Факельне спалювання		15	17
Котел із рідким шлаковидаленням	11,4	–	–
Котел із твердим шлаковидаленням	11,4	–	–
Спалювання в киплячому шарі	9,7	–	–
Спалювання в нерухомому шарі	121	–	–
Спалювання в камері згоряння ГТУ	–	15	15

10.1.5 Розрахунок показника емісії важких металів

Викиди важких металів та їх сполук пов'язані з наявністю в мінеральній частині палива сполук важких металів. К важким металам, сполуки яких найбільш небезпечні для навколишнього середовища, відносяться: арсен (As), кадмій (Cd), хром (Cr), мідь (Cu), ртуть (Hg), нікель (Ni), свинець (Pb), селен (Se), цинк (Zn). Під час спалювання мазута або важкого дизельного палива до важких металів йїєї групи віднесен також ванадій (V) та його сполуки. В частках летучої золи більшість цих елементів зустрічаються у вигляді оксидів і хлоридів. В газоподібних викидах вірогідна наявність ртуті, селена й арсена, які частково випаровуються з палива.

Емісія важких металів під час спалювання вугілля

Показник емісії важкого металу $k_{эм}$, г/ГДж при спалюванні вугілля є специфічним і визначається за формулою:

$$k_{эм} = \frac{c_{в.м.}}{Q_i^r} \left[a_{вих} f_{зб} (1 - \eta_{зу}) (1 - f_z) + f_z (1 - \eta_{ззу}) \right],$$

де $c_{в.м.}$ – масовий вміст важкого металу в паливі, мг/кг;

Q_i^r – низша робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$a_{вих}$ – частка золи, яка виходить з котла у виді летучої золи;

$f_{зб}$ – коефіцієнт збагачення важкого металу;

$\eta_{зу}$ – ефективність золоуловлюючої установки;

f_z – частка важкого металу, яка виходить в газоподібній формі;

$\eta_{ззу}$ – ефективність уловлення газоподібної фракції важкого металу в золоуловлювальній установці.

Масовий вміст важкого металу в паливі $c_{в.м.}$ визначається шляхом проведення елементного аналізу палива, яке спалюється. При відсутності даних аналізу орієнтовні значення $c_{в.м.}$ визначають згідно таблиці 10.12.

Таблиця 10.12 – Вміст важких металів в енергетичних вуглях

Марка вугля	Вміст металу $c_{в.м.}$, мг/кг								
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Антрацитовий штиб АШ	20	0	47	29	0,28	26	20	0	40
Тощі вуглі ГР	20	0	47	29	0,2	26	18	0	40
Донецький газовий ГР	20	0	47	29	0,14	26	14	0	40
Донецький довгополум'яний ДР	20	0	47	29	0,16	26	16	0	40
Львівсько-Волинський ГР	20	0	47	29	0,16	26	16	0	40
Александрівський бурій Б1Р	20	0	47	29	0,16	26	14	0	40

Частка золи $a_{вих}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді летучої золи, залежить від технології спалювання палива, приведена в таблиці 10.2.

Коефіцієнт збагачення $f_{зб}$ характеризує властивість "збагачення" (збільшення вмісту) важкого металу в частках золи. Вміст важких металів у дрібній фракції золи вище, за крупної. Оскільки в золоуловлювальній установці найбільш ефективно уловлюється велика фракція, то в атмосферне повітря викидається дрібна фракція, у якій вміст важких металів більший. У випадку відсутності даних для конкретних видів і марок твердого палива, яке спалюється, в розрахунках використовують табличні коефіцієнти $f_{зб}$, наведені в таблиці 10.13.

Частка важкого металу, яка виходить з вугілля в газоподібному виді f_z залежить від фізико-хімічних властивостей важкого металу. Орієнтовні значення f_z приведені в таблиці 10.14.

Таблиця 10.13 – Коефіцієнт «збагачення» важких металів після золоуловлювання

Метал	$f_{zб}$			
	Ступінь уловлювання			
	$\eta \leq 0,7$	$0,7 < \eta \leq 0,97$	$0,97 < \eta \leq 0,99$	$\eta > 0,99$
Арсен (As)	1,0	$\eta = 3,7 \eta - 1,59$	$\eta = 175 \eta - 167,75$	5,5
Кадмій (Cd)	1,0	$\eta = 7,04 \eta - 3,93$	$\eta = 205 \eta - 195,55$	7,0
Хром (Cr)	1,0	1,0	1,0	1,0
Мідь (Cu)	1,0	$\eta = 0,37 \eta + 0,74$	$\eta = 60 \eta - 57,1$	2,3
Ртуть (Hg)	1,0	1,0	1,0	1,0
Нікель (Ni)	1,0	$\eta = 1,48 \eta - 0,04$	$\eta = 95 \eta - 90,75$	3,3
Свинець (Pb)	1,0	$\eta = 5,56 \eta - 2,89$	$\eta = 175 \eta - 167,25$	6,0
Селен (Se)	1,0	$\eta = 7,78 \eta - 4,44$	$\eta = 220 \eta - 210,3$	7,5
Цинк (Zn)	1,0	$\eta = 7,04 \eta - 3,93$	$\eta = 205 \eta - 195,55$	7,0

Таблиця 10.14 – Частка газоподібної фракції важкого металу f_z при спалюванні вугля

Важкі метали	Частка газоподібної фракції f_z
Арсен (As)	0,005
Ртуть (Hg)	0,900
Селен (Se)	0,150

Ефективність уловлювання твердих часток золоуловлюючою установкою η_{zy} залежить від типу очистительного обладнання, яке встановлено на енергетичній установці, наприклад електростатичного фільтра, рукавного фільтра, мокрого скрубера або батарейного циклону.

Ефективність уловлювання газоподібних важких металів η_{zzy} залежить від властивостей важкого металу, типу золоуловлювача та наявності інших заходів очистки димових газів, таких, як сіркоочисні і азотоочисні установки. Ефективність уловлювання газоподібної фракції важких металів в електрофільтрах $\eta_{zzy} = 0,35$, для всіх інших золоуловлювачих $\eta_{zzy} = 0$.

Емісія важких металів при спалюванні мазуту

При згорянні в енергетичній установці мазуту утворюються сполуки важких металів, які входять в склад мазутної золи. Сполуки ванадія відносяться до

основним складових мазутної золи. Тому кількість викидів ванадію служить критерієм небезпечного шкідливого впливу мазутної золи на оточуюче середовище.

Показник емісії мазутної золи k_v , г/ГДж, в перерахунку на ванадій є специфічним і розраховується за формулою:

$$k_v = \frac{c_v}{Q_i^r} (1 - \eta_{oc}) (1 - \eta_{zy(v)}) ,$$

де Q_i^r – нижня теплота згоряння палива, МДж/кг;

c_v – масовий вміст ванадію в паливі, мг/кг;

η_{oc} – доля ванадія, яка осідає з твердими частками на поверхнях нагріву котла;

$\eta_{zy(v)}$ – ефективність уловлювання ванадію в золоуловлювачі.

Масовий вміст ванадія в мазуті c_v , мг/кг, визначається за результатами хімічного аналізу мазута або розраховується за формулою:

$$c_v = 2222 A^r ,$$

де A^r – масовий вміст золи в мазуті на робочу масу, %.

Доля ванадію η_{oc} , яка осідає з твердими частками на поверхнях нагріву котлів, залежить від конструктивних особливостей котлів: $\eta_{oc} = 0,07$ (для котла з проміжними пароперегрівачами, очистка поверхні при зупинці котла); $\eta_{oc} = 0,05$ (для котла без проміжних пароперегрівачів, очистка поверхні при зупинці котла).

Ефективність очистки димових газів від мазутної золи (в перерахунку на ванадій) $\eta_{zy(v)}$ в газомазутних котлах батарейними циклонами, які спеціально використовуються для цього (діапазон ефективності очистки 0,65÷0,85), визначається за емпіричною формулою:

$$\eta_{zy(v)} = 3,1277 \eta_{zy}^2 - 1,4948 \eta_{zy} - 0,1412 ,$$

де η_{zy} – ступінь очистки димових газів від твердих часток.

Показник емісії п'ятиокису ванадію $k_{V_2O_5}$ розраховують за формулою:

$$k_{V_2O_5} = k_v \frac{\mu_{V_2O_5}}{2 \mu_V} = k_v \frac{182}{2 * 51} \approx 1,8 k_v ,$$

де k_v – показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій;

$\mu_{V_2O_5}$ – молекулярна маса п'ятиокису ванадія, 182 кг/моль;

μ_V – молекулярна маса ванадія, 51 кг/моль.

11 ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

В основі методики розрахунку лежить маса використаного палива з урахуванням експлуатаційних факторів і технічного стану автотехніки. Викиди вуглеводнів в з картерними газами та у виді випаровувань палива враховуються відповідним зростанням викидів вуглеводнів з відпрацьованими газами.

В автомобілі існує три джерела викидів забруднювальних речовин:

- відпрацьовані гази двигунів;
- картерні гази;
- топливні випаровування.

Найбільш суттєвими з них є відпрацьовані гази, їх основними, токсичними елементами є: оксид вуглецю, оксиди азоту, несгоревші вуглеводні, діоксид сірки, сажа, сполуки свинцю, поліциклічні ароматичні вуглеводні.

Оксид вуглецю утворюється в результаті неповного спалювання палива в камері згоряння: в збагачуваній суміші - за причин неповного згоряння вуглецю при недостатній кількості кисню, а в сильно обедненній - за причин неповного розповсюдження пламені. Цьому сприяє також ефект переохолодження паливно-повітряної суміші на стінках камери згоряння.

Кількість *оксидів азоту*, які утворюються в камері згоряння, залежить від температури, часу та коефіцієнта надлишку повітря. О'єднені паливно-повітряні суміші дають найбільші концентрації оксидів азоту, оскільки в них є надлишкова кількість кисню при відносно високих температурах згоряння.

Основною причиною неповного згоряння *вуглеводнів* є охолодження паливної суміші стінками камери згоряння, безперервне змішування палива і повітря під час вприску і згоряння, низька летучість дизельного палива. При цьому в атмосферу потрапляє більш 400 видів вуглеводних сполук.

Суттєві викиди *діоксида сірки* в дизельних двигунах обумовлені високим вмістом сірки в дизельному паливі.

Сажевий аерозоль складає з часток вуглецю та важких (рідких) вуглеводнів. При великих навантаженнях на двигун сажевий аерозоль в основному складають частки вуглецю, при малих навантаженнях – збільшується кількість важких вуглеводнів.

Токсичність викидів двигунів внутрішнього згоряння обумовлена адсорбованими на поверхні часток вуглецю поліциклічними ароматичними вуглеводнями, з яких багато канцерогенні.

При використанні етильованих сортів бензину, в атмосферу потрапляють тетраетилсвинець та інші сполуки свинцю, які є сильнодієвими, токсичними речовинами.

11.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин від автотранспорту

В основі методики розрахунку лежить маса використаного палива з урахуванням експлуатаційних факторів і технічного стану автотехніки. Викиди вуглеводнів з картерними газами та у виді випаровувань палива враховуються відповідним зростанням викидів вуглеводнів з відпрацьованими газами.

Маса викиду j -ї забруднювальної речовини за період τ рухомим складом автомобільного транспорту, який має в своєму складі n груп автомобілей k -го типу, визначається за формулою:

$$M_j^\tau = \sum_{i=1}^n (g_{j1i} * G_{1i}^\tau + g_{j2i} * G_{2i}^\tau) * K_{Tji} * 10^{-3} m,$$

де g_{j1i} і g_{j2i} – питомі викиди j -ї забруднюючої речовини з одиниці маси палива, яке використано автомобілями k -го типу в умовах руху в містах, населених пунктах та поза ними відповідно;

G_{1i}^τ і G_{2i}^τ – витрата палива автомобілями k -го типу в умовах руху в містах, населених пунктах та поза ними відповідно за період τ , т;

K_{Tji} – коефіцієнт технічного стану автомобілей. Для діоксиду сірки та сполук свинця $K_{Tji} = 1$.

Значення питомих викидів забруднювальних речовин для сучасних автомобілей приведені в таблиці 11.1.

Значення коефіцієнта K_{Tji} , який враховує вплив технічного стану автомобілей, приведені в таблиці 11.2.

Якщо немає даних по витратах палива автомобілями окремо в містах, населених пунктах та поза ними, то маса викидів j -ї забруднювальної речовини рухомим складом автомобільного транспорту, який має n груп автомобілей k -го типу, за період τ визначається за формулою:

$$M_j^\tau = \sum_{i=1}^n g_{jyi} * G_i^\tau * K_{Tji} * 10^{-3} m,$$

де g_{jyi} – усереднений питомий викид j -ї забруднюючої речовини з одиниці палива, яке використано автомобілями k -го типу, кг/т;

G_i^τ – витрата палива автомобілями k -го типу, т.

Значення усереднених питомих викидів забруднювальних речовин для сучасних автомобілей приведені в таблиці 11.4.

Значення коефіцієнта K_{Tji} визначаються по таблиці 11.2.

Викиди забруднювальних речовин легковими автомобілями з дизелями розраховуються по питомим викидам для вантажних грузових автомобілей з дизелями.

Викиди забруднювальних речовин легковими автомобілями з ДВЗ, які працюють на сжатому природному газі (СПГ), розраховуються за питомими викидами для вантажних грузових автомобілей з ДВЗ, які працюють (СПГ).

Методика може бути використана для приблизного розрахунку забруднювальних речовин від сільськогосподарської техніки. В такому випадку питомі викиди забруднювальних речовин приймаються такими ж, як для вантажних автомобілей, які працюють на відповідному виді палива (таблиця 11.1) під час руху поза містом й населених пунктів.

У випадку відсутності даних по витраті палива автомобілями різних типів приблизний розрахунок викидів забруднювальних речовин рухомим складом автомобільного транспорту проводять виходячи з витрати палива даного виду за нижчеприведеною формулою:

$$M_i = \sum_{j=1}^m g_{jci} * G_i^r * K_{Tji} * 10^{-3}, m \quad (11.1)$$

де g_{jci} – середній питомий викид j -ї забруднюючої речовини з одиниці використаного i -го палива, кг/т;

G_i^r – витрата i -го палива рухомим складом автопідприємства, т (визначається зі звітності за формою № 4 – МТП або витрата палива в даному регіоні);

Середній питомий викид g_{jci} обирається з таблиці 11.3.

Коефіцієнт K_{Tji} визначається по таблиці 11.2.

За формулою (11.1) можна також приблизно визначити викиди забруднювальних речовин сільськогосподарською технікою.

Викиди забруднювальних речовин від ДВЗ автомобілей при роботі в режимі стаціонарнихджерел (внутришньогаражні роз'їзди, пости техобслуговування, мойки) визначаються в кількості 0,5 % від викидів при використанні заданої кількості палива. У тому числі на гаражні роз'їзди – 70 %, на техобслуговування 30 % від них.

Таблиця 11.1 – Значення питомих викидів забруднюючих речовин автомобілями (кг/т палива). Під час руху в умовах міста та населених пунктів

Під час руху в умовах міста та населених пунктів						
Група автомобілей	g _{1CO}	g _{1CH}	g _{1NOx}	g _{1C}	g _{1SO2}	g _{1Pb}
Грузові автомобілі з ДВЗ, які працюють на бензині та зрідженому нафтяному газі (СНГ)	233	56,9	16,37	-	0,6	0,23
Грузові автомобілі з дизелями	41,5	6,93	29,6	3,85	5,0	–
Автобуси з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ	233	56,9	16,37	-	0,6	0,23
Автобуси з дизелями	41,5	6,93	29,6	3,85	5,0	–
Грузові автомобілі та автобуси з ДВЗ, які працюють на стисненому природному газі	92	30,8	23,2	–	–	–
Легкові службові та спеціальні легкові автомобілі, автомобілі індивідуальних власників із ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ	233	33,5	16,37	–	0,6	0,5
Під час руху поза містами та населеними пунктами						
Група автомобілей	g _{2CO}	g _{2CH}	g _{2NOx}	g _{2C}	g _{2SO2}	g _{2Pb}
Грузові автомобілі з ДВЗ, які працюють на бензині та зрідженому нафтяному газі (СНГ)	152	34,2	28,5	-	0,6	0,23
Грузові автомобілі з дизелями	29,3	5,3	33,7	3,85	5,0	–
Автобуси з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ	152	34,2	28,5	-	0,6	0,23
Автобуси з дизелями	29,3	5,3	33,7	3,85	5,0	–
Грузові автомобілі та автобуси з ДВЗ, які працюють на стисненому природному газі	82,0	12,12	33	–	–	–
Легкові службові та спеціальні легкові автомобілі, автомобілі індивідуальних власників з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ	152	20,15	28,5	–	0,6	0,5

Таблиця 11.2 – Коефіцієнт K_{Tji} , який враховує вплив технічного стану автомобілей на величину викидів забруднюючих речовин

Група автомобілей	$K_{T_{CO}}$	$K_{T_{CH}}$	$K_{T_{NOx}}$	K_{T_C}
Грузові автомобілі з ДВЗ, які працюють на бензині та зрідженому нафтяному газі (СНГ)	1,7	1,8	0,9	–
Грузові автомобілі з дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Автобуси з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ	1,7	1,8	0,9	–
Автобуси з дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Грузові автомобілі й автобуси з ДВЗ, які працюють на стисненому природному газі	1,7	1,8	0,9	–
Легкові службові та спеціальні легкові автомобілі, автомобілі індивідуальних власників з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ	1,5	1,5	0,9	–
Примітка Для діоксиду сірки SO_2 та сполук свинцю Pb коефіцієнт K_T дорівнює 1.				

Таблиця 11.3 – Значення середніх питомих викидів шкідливих речовин автомобілями (кг/т палива)

Вид топлива	g_{CO}	g_{CH}	g_{NOx}	g_C	g_{SO_2}	g_{Pb}
Бензин	196,5	37,0	21,8	–	0,6	0,35
Зріджений нафтяний газ (СНГ)	196,5	37,0	21,89	–	0,3	–
Дизельне паливо	36,0	6,2	31,5	3,85	5,0	–
Стиснений природний газ (СПГ)	87,5	22,4	27,8	–	–	–

Таблиця 11.4 – Значення усереднених питомих викидів забруднюючих речовин автомобілями (кг/т палива)

Група автомобілей	g _{уСО}	g _{уСН}	g _{уNO_x}	g _{уС}	g _{уSO₂}	g _{уPb}
1	2	3	4	5	6	7
Грузові автомобілі з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ у міських перевезеннях	225,7	54,8	17,46	–	0,6	0,23
Ті самі автомобілі при інших перевезеннях	169,8	39,2	25,8	–	0,6	0,23
Грузові автомобілі з дизелями у міських перевезеннях	40,4	6,8	30,0	3,85	5,0	–
Ті самі автомобілі при інших перевезеннях	32,0	5,65	32,8	3,85	5,0	–
Автобуси з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ при міських перевезеннях	233	56,9	16,37	–	0,6	0,23
Ті самі автобуси під час роботи на приміських та туристичних маршрутах	210,36	50,5	19,76	–	0,6	0,23
Ті самі автобуси під час міжміських перевезень	169,0	38,97	25,95	–	0,6	0,23
Ті самі автобуси під час перевезень у сільській місцевості	177,92	41,45	24,6	–	0,6	0,23
Автобуси з дизелями у міських перевезеннях	41,5	6,93	29,6	3,85	5,0	–
Ті самі автобуси під час роботи на приміських та туристичних маршрутах	38,08	6,47	30,74	3,85	5,0	–
Ті самі автобуси при міжміських перевезеннях	31,86	5,64	32,84	3,85	5,0	–
Ті самі автобуси при перевезеннях у сільській місцевості	33,2	5,81	32,38	3,85	5,0	–
Грузові автомобілі з ДВЗ, які працюють на стисненому природному газі (СПГ) при міських перевезеннях	91,1	29,13	24,07	–	–	–
Ті самі автомобілі при інших перевезеннях	84,2	16,29	30,8	–	–	–
Автобуси з ДВЗ, які працюють на стисненому природному газі (СПГ) при міських перевезеннях	92	30,8	23,2	–	–	–
Ті самі автобуси при робот на приміських та туристичних маршрутах	89,2	25,6	25,94	–	–	–
Ті самі автобуси при міжміських перевезеннях	84,1	16,1	30,94	–	–	–
Ті самі автобуси при перевезеннях у сільській місцевості	85,2	18,15	29,86	–	–	–
Легкові службові та спеціальні легкові автомобілі з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ і які знаходяться на обліку у містах	225,7	32,3	17,46	–	0,6	0,5

Продовження таблиці 11.4

1	2	3	4	5	6	7
Ті самі автомобілі, які знаходяться на обліку у сільській місцевості	177,92	24,42	24,62	–	0,6	0,5
Автомобілі індивідуальних власників з ДВЗ, які працюють на бензині та СНГ, які знаходяться на обліку в містах	202,22	28,43	20,98	–	0,6	0,5
Ті самі автомобілі, які знаходяться на обліку в сільській місцевості	177,92	24,42	22,91	–	0,6	0,5
Примітка. Викиди сполук свинцю для автомобілей, які працюють на зрідженому нефтяному газі (СНГ) не визначаються						

Примітка. Викиди сполук свинцю для автомобілей, які працюють на зрідженому нефтяному газі (СНГ) не визначаються

12 ДЖЕРЕЛА УТВОРЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

На машинбудівних підприємствах основними джерелами забруднення атмосфери є наступні види виробництв:

- зварювання та теплове різання металу;
- ливарне виробництво;
- механічна обробка матеріалів;
- термічні цеха;
- процеси нанесення лакофарбних покриттів;
- процеси хімічної та електрохімічної обробки.

12.1 Зварювання та теплове різання металу

При виконанні *зварювальних робіт та теплового різання металу* повітря забруднюється зварювальним аерозолем, в складі якого в залежності від виду зварювання, марок електродів і флюса знаходяться шкідливі для здоров'я оксиди металів (заліза, марганцю, хрома, ванадія, алюмінія, цинку, міді...) у виді твердих часток та газоподібні сполуки (HF, CO, NO_x, O₃- озон).

Аерозоль, який утворився характеризується дрібною дисперсністю (швидкість витання часток не перевищує 0,1 м/с). По мірі віддалення від джерела викиду, як по горизонталі, так і по вертикалі концентрація шкідливих речовин в повітрі різко зменшується і на відстані 2–4 м приближується до загального фону забруднення повітря в приміщенні.

Кількість пилу і газів, які утворюються під час зварювання та різання прийнято характеризувати валовими виділеннями, які віднесені до 1 кг витрачених електродів (табл. 12.1); при різанні – до 1 м довжини розрізу у відповідності до товщини матеріала (табл. 12.2).

Таблиця 12.1 – Питоме виділення забрунюючих речовин в атмосферу при зварювальних роботах

Марка електроду	Питомий викид, г/кг								
	Тверді частки					Газоподібні			
	Заліза оксид Fe ₂ O ₃	Марганцю оксид MnO ₂	Хрома оксид Cr ₂ O ₃	Кремнію оксид SiO ₂	Інші		Водо род фто ристий (HF)	Азоту оксид (NO _x)	Вуглецю оксид (CO)
					Наймену вання	Кіль кість			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ручне дугове зварювання електродами									
АНВ-17	19,98	0,71	1,35	1,43	Нікелю оксид	0,72	2,7	–	–
					Фториди добре/ погано розчинні	1,14/6,5	-	–	-
АНО-33	7,50	0,75	-	0,28	Фториди добре/ погано розчинні	0,6/1,4	0,03	–	–
АНП-8	9,68	1,05	0,57	2,69	Фториди добре/ погано розчинні	1,34/1,75	0,7	–	–

Продовження таблиці 12.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АНТМ-17	7,7	0,29	0,54	2,25	Фториди добре/ погано розчинні	1,2/1,48	0,01	–	–
УОНИ-13/75	14,9	1,09	–	1,0	Фториди добре/ погано розчинні	4,8/2,7	1,26	2,7	13,3
ЗА-606/11	9,72	0,68	0,6				0,004	1,3	1,4
Є48-М/18	8,57	1,0	1,43	–	Фториди добре/ погано розчинні	0,75/1,5	0,001	–	–

Таблиця 12.2 – Питоме виділення забрунюючих речовин ватмосферу при різанні сталі

Товщина листа, мм	Пил, г/м	СО, г/м	NO _x , г/м
Газове різання сталі			
5	2,25	1,5	1,18
10	4,5	2,18	2,2
15	9	2,93	2,4
Плазменне різання сталі вуглеводної низьколегірованої			
10	4,1	1,4	6,8
14	6	2	10
20	10	2,5	14

12.2 Ливарні цехи

В склад ливарного цеху машинобудівного заводу входять:

- плавильні агрегати;
- шихтовий двір;
- ділянки підготовки формовочних і стержневих сумішей;
- ділянка розливу металу;
- ділянка очистки лиття.

В якості плавильних агрегатів використовуються:

- вагранки відкритого і закритого типу;
- електродугові печі;
- індукційні печі.

Вагранка – піч шахтного типу для плавки чавуну в ливарних пічах (рис. 12.1). Плавка відбувається за рахунок тепла, яке виділяється при спалюванні коксу.

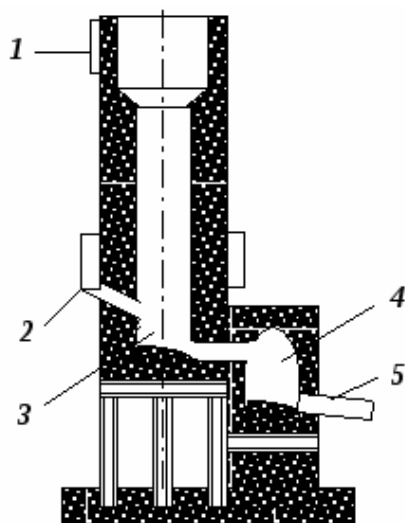


Рисунок 12.1 – Схема вагранки:

- 1 – колошниковий отвір;
- 2 – фурми;
- 3 – горн;
- 4 – накопичувач;
- 5 – летка

Електродугова піч – промислова піч, в якій для плавки металів й інших матеріалів використовується теплота електричної дуги (рис. 12.2).

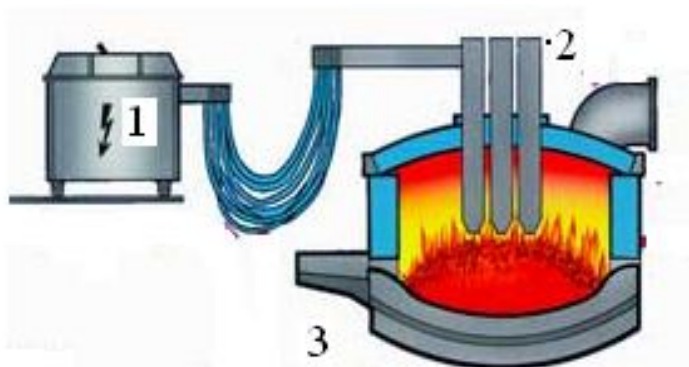


Рисунок 12.2 – Схема електродугової печі:
1 – трансформатор;
2 – електроди;
3 – ємність, футерована вогнеупорним матеріалом

Індукційна піч – електрична плавильна піч, в якій метал поміщається в змінне електромагнітне поле, в результаті чого в металі індуктується нагрівальний його електричний струм (рис. 12.3).

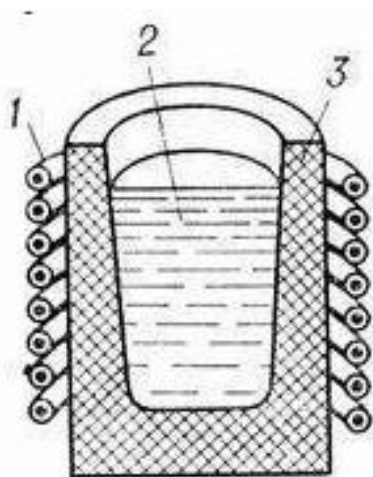


Рисунок 12.3 – Схема індукційної тигельної печі:
1 – індуктор (соленоїд з медної водоохолоджувальної трубки);
2 – розплав;
3 – тигель з вогнеупорного матеріала

Розрахунок викидів плавильного агрегату проводиться за формулою:

$$P=q D \beta (1-\eta), \quad (12.1)$$

де q – питома виділення речовини на одиницю продукції, кг/т (табл. 12.3, 12.4);

D – розрахункова потужність агрегата, т/годину;

β – поправочний коефіцієнт для урахування умов плавки (табл.12.5);

η – ефективність заходів зі зменшення викидів (в частках одиниці).

Таблиця 12.3 – Питоме виділення забруднювальних речовин q , кг/т при плавлінні чавуну у відкритій вагранці

Потужність вагранки, т/год	Пил	CO	SO ₂	C _m H _n	NO _x
2	20	200	1.5	2.6	0.014
3	20	200	1.4	2.4	0.014
4	20	200	1.4	2.3	0.012
5	20	185	1.4	2.2	0.013
7	19	200	1.5	2.4	0.014
10	19	180	1.4	2.2	0.014
15	17	180	1.3	2.1	0.012
20	18	190	1.5	2.3	0.014
25	19	200	1.4	2.4	0.014

Закриті чавунно-ливарні вагранки потужністю 5–10 т/годину при плавлінні чавуну виділяють у середньому на тону метала, який виплавляється, наступну кількість забруднювальних речовин:

пил – 11,5 кг;

CO – 193 кг;

C_mH_n – 0,7 кг;

SO₂ – 0,4 кг.

Хімічний склад пилу вагранки:

SiO₂ – 20 – 50 %

CaO – 2 – 12 %

Fe₂O₃ + FeO – 10 36 %

Al₂O₃ – 0,5 – 6 %

MgO – 0,5 – 4 %

C – 30 – 45 %

Таблиця 12.4 – Питоме виділення забруднювальних речовин з електродугових печей q , кг/т

Емність печі, т	Виплавка сталі				Виплавка чавуну			
	Потужність, т/ч	q , кг/т			Потужність, т/ч	q , кг/т		
		пил	CO	NO _x		пил	CO	NO _x
0,5	0,33	9,9	1,1	0,27	–	–	–	–
1,5	0,94	9,8	1,2	0,26	–	–	–	–
3	1,56	9,5	1,3	0,26	1,65	9,5	1,3	0,26
5	2,0	9,4	1,3	0,26	2,5	9,4	1,3	0,26
6	2,7	9,2	1,4	0,27	2,8	9,2	1,4	0,27
10	3	8,8	1,4	0,27	4,5	8,8	1,4	0,27
12	3,42	8,7	1,5	0,29	5,1	8,7	1,5	0,29
20	5,9	8,1	1,5	0,29	7,0	8,1	1,5	0,29
25	6,2	7,6	1,5	0,29	8,0	7,6	1,5	0,29

Таблиця 12.5 – Значення коефіцієнту β

Умови плавки	Для сталі	Для чавуну
Кислий процес	1	1
Основний процес	0,8	0,67
Використання кисню	1,15	1,1
Плавка легірованої сталі	0,85	–
Попередній нагрів шихти до 400 °С	–	1,22

Дисперсний склад пилу закритої чавунно-ліварної вагранки представлений в таблиці 12.6.

Таблиця 12.6 – Дисперсний склад пилу закритої чавунно-ліварної вагранки

Умови плавки	Діаметр часток, мкм						
	< 5	5–10	10–25	25–50	50–75	75–150	> 150
при гарячому дутті	16,6	13,3	16,0	13,2	12,5	18,4	10
при холодному дутті	-	2,4	6,2	21,8	26,4	29,9	13,3

При випуску 1 тони чавуну з вагранок в ковші, в атмосферу цеха виділяється коло 125–130 г СО, 18–22 г графітного пилу.

Під час розливу чавуну у форми в атмосферу виділяється СО. Його кількість залежить від маси відливок m , кг (табл. 12.7).

Таблиця 12.7 – Питоме виділення СО під час розливу чавуну у форми

m , кг	8–30	31–50	51–100	101–200	201–300	301–500	501–1000	1001–2000
q , кг/т	1,2	1,1	1,05	1,00	0,9	0,8	0,75	0,7

Окрім пилу, СО та NO_x у викидах електродугових печей присутні:

- оксиди сірки – 1,6 г/т;
- цианіди – 28,4 г/т;
- фториди – 0,56 г/т.

Під час плавки нержавіючих, жаропрочних й кислотоупорних сталей питоме виділення пилу у відходящих газах слід збільшити у 1,4–1,5 рази.

При продувці киснем виділення пилу приймають приблизно 0,5 кг на 1 м³ кисню.

Для індукційних печей при плавці чавуну та сталі середній питомий показник виділення пилу складає 0,75–1,5 кг/т металу.

Маса забруднюючих газоподібних речовин незначна.

Необхідно враховувати організовані викиди за рахунок нещільності технологічного обладнання та при виконанні деяких операцій (випуск розплавленого металу в ковш, ізложниці). Вони складають у середньому 40 % маси речовин, які виділяються плавильними агрегатами.

Для оцінки сумарної кількості організованих й неорганізованих викидів в формулу 2.5 слід додати коефіцієнт 1,4.

Плавка кольорових металів та сплавів на їх основі на машинобудівних заводах здійснюється в індукційних, електродугових та печах опіру, ктивністю від 0,15 до 2,0 т/ч.

В газових виділеннях містяться (табл. 12.8):

- возгони металу та його оксидів;
- оксиди сірки, азоту і вуглецю;
- фтористий водород, аміак, іони хлору, графітовий пил, фтористий кальцій, фтористий барій та інші.

Таблиця 12.8 – Питоме виділення забруднюючих речовин (кг/т) під час лиття кольорових металів й сплавів

Плавильне обладнання	Пил	NO _x	SO ₂	CO	Інші речовини
Індукційні печі	1,2	0,7	0,4	0,9	0,2
Електродугові печі	1,8	1,2	0,8	1,1	0,3
Печі опіру	1,5	0,5	0,7	0,5	0,3
Газомазутні Плавильні печі	2,8	0,6	0,6	1,4	0,18

На різних участках ливарного виробництва має місце забруднення повітря пилом при проведенні різних операцій з сипучими матеріалами (табл. 12.9).

В процесі приготування формовочних сумішей в процесах сушіння, дробління, помолу та змішування їх компонентів виділяється пил до 15 кг/т.

Додаткове виділення речовин має місце у випадку використання для сушіння стержней і форм рідкого або твердого палива.

При використанні формовочних сумішей холодного твердіння, які містять:

- *фенолформальдегідну смолу*, виділяються: CO, бензол, фенол, формальдегід, метанол;
- *карбамідну смолу*, виділяються: CO, формальдегід, метан, цианіди, аміак.

Таблиця 12.9 – Питоме виділення пилу при операціях з різними сипучими матеріалами

Вид робіт	Вид сипучого матеріалу						
	Песок	Цемент бетоніт	Вапняк	Кокс ливарний	Вугілля камя'нт	Глина формовочна	Опилки торфяна крошка
Вивантаження з вагонів і самосвалів грейферними механізмами у прийомні ями	0,1	0,25	0,23	0,28	0,14	0,08	0,33
Завантаження в прийомні бункера та сховища	-	0,31	0,75	0,7	0,4	0,12	0,85
Переміщення матеріалу а) одноковшовим екскаватором (продуктивністю до 90 м ³ /год)	0,05	0,09	0,15	0,05	0,03	0,04	0,05
б) мостовим краном з грейферним механізмом та канатно-скреперними установками (продуктивністю до 17 м ³ /год)	0,15	0,28	0,45	0,15	0,07	0,12	0,13

Витяг відливок з песчано-глинистих форм та визволення їх від відпрацьованих формовочних сумішей виконується за допомогою вибивного обладнання й супроводжується виділенням пилу, горелої землі й окалини у кількості від 30 кг/т відлитого металу.

12.3 Механічна обробка металів

Механічна обробка металів – це різання та абразивна обробка, які супроводжуються виділенням в атмосферу:

- пилу;
- стружки;
- туманів масел і емульсій.

Об'єм викидів визначається виходячи з нормо-годин роботи станочного парку.

Інтенсивність пилоутворення при різанні (табл. 12.10) залежить від:

- виду та потужності встановленого обладнання;
- швидкості різання;
- величини подачі ріжущого інструменту;
- геометричних параметрів ріжущого інструменту;
- від складу матеріалу деталей, які обробляються.

Інтенсивність пилоутворення при абразивній обробці (табл. 12.11) залежить від:

- потужності станка;
- глибини різання;
- діаметра круга.

Медіанний розмір часток пилу складає 15–60 мкм.

Таблиця 12.10 – Питомі викиди під час механічної обробки металів різанням

Обладнання	Встановлена потужність, кВт	При охолодженні маслом	При охолодженні емульсією		Пил, г/год
		аерозоль масла, г/год	аерозоль емульсола, мг/год	пари води, кг/год	
Токарні станки малих та середніх розмірів	0,65–14	0,13–2,8	4–88	0,1–2,1	2–4
Фрезерувальні	2,8–14	0,56–2,8	17–88	0,4–2,1	15–25
Сверлильні	1–10	0,2–2,0	60–63	0,2–1,5	3–5

Таблиця 12.11 – Питоме виділення пилу при абразивній обробці

Обладнання	Діаметр шліфовального станка, мм	Питомі виділення пилу, г/год
Кругло-шліфовальний станок	150	117
	300	155
	400	180
	900	310
Заточний станок	100	30–40
	200	62–85
	300	110–135

12.4 Термічні цехи

До основного обладнання термічних цехів відносяться нагрівальні печі, які працюють на газі та мазуті, електротермічні печі та ванни. Їх кількісні характеристики виділення речовин в окремих процесах наведені в таблиці 12.12.

Таблиця 12.12 – Виділення збруднюючих речовин в термічних цехах

Тип обладнання, технологічний процес	Речовина	Кількість
1. Нагрівальні уст­ройства –печі зі згорян­ням природного газу	CO NO _x	12,9 г/м ³ газу 2,15 г/м ³ газу
2. Соляні ванни: а) нагрів під за­калку в розпла­вах хлористого барію, натрію, калію б) охолодження та отпуск стал­ьних деталей в сумі­сях з вуглекис­лого натрію, хлористого натрію й вуглекис­лого калію	аерозолі хлористий водень аерозолі	0,35 г/кг металу 0,12 г/кг металу 0,25 г/кг металу
3. Цианірування а) низькотемпературне б) високотемпературне	аерозолі цианістий водень аерозолі цианістий водень	0,25 г/кг деталей 0,3 г/кг деталей 0,36 г/кг деталей 0,3 г/кг деталей
1. Масляні ванни й баки а) закалка б) отпуск	аерозолі й пари масел аерозолі й пари масел	0,1 г/кг 0,08 г/кг
2. Очисні дробомітні установки	пил металева, окалина	1,5 г/кг деталей
6. Установки для нанесення антицементацийних покриттів	пари бензолу й толуолу	2 г/кг деталей

12.5 Лакофарбування

В якості вихідних даних для розрахунку виділення забруднюючих речовин при різних способах нанесення лакофарбного покриття приймають:

- фактичну або планову витрату окрасочного матеріалу;
- частку вмісту в ньому розчинника;
- частку компонентів лакофарбного матеріалу, яка виділяється з нього у процесі окраски та сушки.

Маса аерозоля фарби $\Pi^a_{ок}$ (кг), яка виділилася при нанесенні лакофарбного покриття на поверхню матеріалу, розраховується за формулою:

$$\Pi^a_{ок} = m_k \delta_a 10^{-2},$$

де m_k – маса фарби, яка використовується для покриття, кг;

δ_a – частка фарби, яка втрачена у вигляді аерозолю, % (табл. 12.13).

Маса пари розчинника $\Pi^{нар}_{ок}$ (кг), яка виділилася при нанесенні лакофарбного покриття на поверхню матеріалу, визначається за формулою:

$$\Pi^{нар}_{ок} = m_k f_p \delta'_p 10^{-4},$$

де f_p – частка летучої частини (розчинника) у лакофарбному матеріалі, %;

δ'_p – частка розчинника, яка виділилася при нанесенні покриття, % (табл. 12.13).

Маса пари розчинника $\Pi^{нар}_c$ (кг), яка виділилася в процесі сушки окрасного виробу, визначається за формулою:

$$\Pi^{нар}_c = m_k f_p \delta''_p 10^{-4},$$

де δ''_p – частка розчинника, яка виділилася в процесі сушіння покриття, % (табл. 12.13).

Визначено, що в процесі формування лакофарбного покриття відбувається практично повний перехід летучої частини (розчинника) у пароподібний стан.

Таблиця 12.13 – Виділення забруднюючих речовин при нанесенні лакофарбного покриття

Спосіб фарбування	Аерозолі, відсоток від маси витраченої фарби	Пари розчинника, відсоток від загального вмісту розчинника у фарбі	
	фарбування	фарбування	сушіння
1	2	3	4
<i>Розпилення:</i>			
– пневматичне,			
– безповітряне,	30	25	75
– гідроелектростатичне,	2,5	23	77
– пневмоелектричне,	1	25	75
– електростатичне,	3,5	20	80
– гаряче	0,3	50	50

Продовження таблиці 12.13

1	2	3	4
Електроосадження	20	22	78
Струйний облив	–	10	90
Окунання	–	35	65
Покриття лаком у лако-налівних машинах:	–	28	72
металеві вироби			
дерев'яні вироби	–	60	40
	–	80	20

12.6 Гальванічна обробка

При гальванічній обробці деталей виділяються аерозолі: сірчаної, соляної кислот та їдких лугів, а також пари:

- оксидів азоту;
- азотної та соляної кислот;
- ціаністий водень;
- фтористий водень;
- хромовий ангідрид.

Для розрахунку кількості забрунюючих речовин, які виділяються при гальванічній обробці прийнятий питомий показник q (г/ч м²), віднесений до площі поверхні гальванічної ванни.

Кількість забрунюючих речовин, т/ч, яка відходить від одиниці технологічного обладнання, визначається за формулою:

$$P_o = 10^{-6} \cdot \tau \cdot q \cdot F \cdot K_3 \cdot K_y,$$

де τ – час, ч;

q – питома кількість речовини, яка виділилася з одиниці поверхні гальванічної ванни при номінальному завантаженні, г/год м² (табл. 12.14);

F – площа зеркала ванни, м²;

K_3 – коефіцієнт завантаження ванни;

K_y – коефіцієнт укриття ванни:

за наявності ПАР $K_y = 0,5$;

за відсутності ПАР $K_y = 1$.

Таблиця 12.14 – Питома кількість забруднюючих речовин які, виділяються з поверхні гальванічних ванн при різних процесах гальванічної обробки

Процес	Речовина	Кількість, г/год м ²
1. Обезжирювання виробів: – органічними розчинниками, – хімічне, в розчинах лугу, – електрохімічне	бензин,	4 530
	керосин,	1 560
	уайт-спірит,	5 800
	бензол,	2 970
	їдкий луг,	1,0
	їдкий луг	39,6
2. Хімічне травлення виробів: – в розчинах хромової кислоти та їsoleй при 50 ⁰ С – в розчинах лугу при 50 ⁰ С – в розбавлених нагрітих 50 ⁰ С та концентрованих розчинах сірчаної кислоти	хромовий ангідрид,	0,02
	їдкий луг,	198
	сірчана кислота	25,2
3. Зняття старих покриттів: – олова й хрому – меді в)нікелю й срібла	їдкий луг,	39,6
	хромовий ангідрид,	36
	сірчана кислота	25,2
4. Нанесення покриттів на вироби: – електрохімічна обробка в розчинах хромової кислоти концентрацією 150 – 300 г/л при силі струму 1 000 А(хромування, анодування, декопіювання), – хімічна обробка в розчинах лугу при 50 °С (отримання металевих покриттів контактним способом, оксидіювання сталей та чавунів)	хромовий ангідрид,	36
	їдкий луг	198

Кількість пари органічних розчинів $\Pi_{ор.р}$ ($m/ч$), які виділяються при процесах обезжирювання виробів, визначається за формулою:

$$\Pi_{ор.р} = 10^{-6} \cdot \tau \cdot q \cdot F ,$$

де m – коефіцієнт, який залежить від площі випаровування (табл. 12.15).

Таблиця 12.15 – Значення коефіцієнту m

F, м ²	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
m	2,56	2,17	1,85	1,6	1,45	1,3	1,23	1,13	1,061	1,0

Якщо у ванні знаходиться кілька розчинів різних речовин, то кількість речовин, які виділяються розраховуються як сума речовин для всіх розчинів.

13 ДЕРЕВООБРОБКА

При обробці деревини в повітря виділяються наступні забурднюючі речовини:

- опилки, стружка, шліфувальний пил – при механічній обробці деревини;
- пари формальдегіду, фенолу, аміака – при гарячому пресуванні, склеюванні й сушки шпону;
- пари ароматичних вуглеводнів – при відділки (отделка) виробів.

Кількість опилок, стружки, пилу при механічній обробці деревини залежить від устаткування та станка й коефіцієнту використання машинного часу.

Кількість пилу (частки розміром менш 200 мкм) $G_{пил}$ (кг/ч) визначається за формулою:

$$G_{пил} = G_0 \cdot K_n$$

де G_0 – середнегодинна кількість відходів, яка отримується від обладнання, яке розглядається, кг/год (табл. 13.1);

K_n – коефіцієнт вмісту пиловидних відходів (частки розміром менш 200 мкм) (табл. 13.1).

Таблиця 13.1 – Значення параметрів G_0 и K_n

Станок	Коефіцієнт використання машинного часу	G_0 , кг/год	K_n
Круглопильний, УП	0,7	21	0,3
Строгальний, СФ-4	0,9	97	0,25
Шліфувальний, ШЛ2Д	0,7	4	0,95

Кількість пиловидних відходів $G_{пил}^{атм}$ (кг/год), які потрапляють в атмосферу після очистки у пилоуловлювачі, розраховують за формулою:

$$G_{пил}^{атм} = G_0 \cdot K_n \cdot K_{эмо} \cdot (1 - K_{но}),$$

де $K_{эмо}$ – коефіцієнт ефективності місцевого відсосу;

$K_{но}$ – ступінь очистки пилоуловлюючого обладнання.

При проведенні операцій склеювання й відділки (отделка) виділяються шкідливі речовини з використаних смоломістких та лакофарбних матеріалів, які використовуються для цього, у вигляді пароповітряних сумішей.

При використанні карбамідо- і фенолформальдегідних смол кількість речовин, які виділяються в атмосферу $G_{скл+отд}$ (кг/год) визначається за формулою:

$$G_{скл+отд} = G_{см} \cdot K_1 \cdot (1 - K_2) \cdot K_3 \cdot 10^{-2},$$

де $G_{см}$ – витрата смоли, кг/год;

K_1 – вміст вільного формальдегіду, фенолу у складі смоли, залежить від марки смоли (табл. 13.2);

K_2 – характерна кількість вільного фенолу, формальдегіду, яка залишається у готовій продукції, яка залежить від виду технологічного процесу (табл. 13.3);

K_3 – характерне виділення шкідливих речовин по ділянкам.

Таблиця 13.2 – Вміст вільного формальдегіду й фенолу у складі смоли K_1

Марка смоли	Вміст формальдегіду, %	Вміст фенолу, %
МФ	3 – 4	–
ПМФ	1,0	–
ОФЖ - 3011	1,0	2,5

Таблиця 13.3 – Значення коефіцієнтів K_2 і K_3

Значення K_2	Значення K_3
Виробництво меблі – 0,7	Клеєнамазуючі вальца – 0,83
Виробництво ДСП – 0,6	Сушилка намазаного шпону – 0,75
Виробництво фанери – 0,5	Склад готової продукції – 0,01

Кількість забруднюючих речовин $G_{отд}$ (кг/ч), яка потрапляє в атмосферу з відділочних матеріалів, визначається за формулою:

$$G_{отд} = 0,8 \cdot G_m \cdot K_k \cdot 10^{-2},$$

де G_m – витрата відділочного матеріалу, кг/год;

K_k – вміст компоненту у складі летучої частки відділочного матеріалу, який розраховується, % (табл. 13.4);

0,8 – коефіцієнт потрапляння летучих речовин в атмосферне повітря.

Таблиця 13.4 – Склад розчинників

Компоненти	Р-4	Р-5	РКБ-1
	Склад, %		
Ацетон	26	30	–
Бутілацетат	12	30	50
Бутіловий спирт	–	–	50
Ксілол	–	40	–
Толуол	62	–	–

14 ЧОРНА МЕТАЛУРГІЯ

На підприємствах чорної металургії найбільш масовими джерелами викидів пилу в атмосферу є наступні технологічні процеси:

- підготовка сировини;
- виробництво коксу;
- доменне виробництво;
- виробництво сталі;
- виробництво прокату.

Частка неорганізованих викидів у загальному об'ємі викидів підприємства може досягати 10–26 %.

14.1 Процес агломерації (збагачення)

Процес агломерації (збагачення) полягає в дроблінні руди, коксу, змішуванні їх з колошниковим пилом й подальшому спіканні всієї шихти.

Для аглофабрики продуктивністю $10 \div 11 \times 10^3$ т/добу кількість агломераційних газів, які викидаються в атмосферу, складає $1,83 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$. Їх запиленість – $8 \div 10 \text{ г/м}^3$ також вміст: CO – 0,6–0,9 %, CO₂ – 4,2 %, SO₂, – 0,05 %.

14.2 Виробництво коксу

Виробництво коксу – промисловий метод переробки палива шляхом його нагрівання без доступу повітря до температури 900–1 100 °С.

Весь процес поділяється на два цикли:

- 1) вироботка коксу;
- 2) уловлювання продуктів коксовання.

Примерний склад коксового газу, %:

CO – 1,6–3;	CO ₂ – 5–6,5;
O ₂ – 0,4–0,8;	H ₂ – 58–62;
N ₂ – 2–3,5;	C _m H _m – 2–2,5;
CH ₄ – 24,5–26,5.	

14.3 Доменне виробництво

Доменне виробництво – виробництво (виплавка) чавуну в доменній печі.

Доменна піч складається зі сталльної шахти, яка виложена вогнеупорним матеріалом, в яку зверху подають шихту (залізна руда, кокс, вапняк), а знизу

повітря нагріте до температури 800–1100 °С. При спалюванні коксу утворюється СО, який забезпечує відновлення оксидів заліза, а тепло, яке виділяється, забезпечує нагрів до температур плавлення заліза й залізної руди. Розплавлений чавун і шлак опускаються в нижню частину доменної печі, звідкіля періодично удаляються через спеціальний отвір (летку).

Продукти згоряння (колошникові гази) удаляються з верхньої частини печі і потім використовуються як паливо, оскільки мають високу теплоту згоряння – до 3,7 МДж/м³.

Колошниковий газ містить в своєму складі наступні компоненти:

- пил – до 30 г/м³;
- СО – 23 – 40 %;
- СО₂ – 15 – 22 %;
- Н₂ – 1,5 – 8 %;
- сліди SO₂ и H₂S.

Кількість колошнікового газу складає 1 100–2 200 м³/т чавуну.

Має місце викиди газів в атмосферу при наступних технологічних операціях:

- випуск чавуну;
- охолодження шлаку;
- обессірівання гарячого металу.

14.4 Виробництво сталі

Виробництво сталі здійснюється в таких агрегатах:

- в конвертерах з кисневим дутієм;
- в електросталеплавильних пічах;
- в мартенівських пічах.

В загальному балансі пилогазових викидів сталеплавильних агрегатів на частку мартенівського виробництва сталі доводиться

- 75 % пилу;
- 85 % оксидів азоту;
- 90 % оксидів сірки.

Мартенівська піч – ємність з вогнеупорної цегли, яка призначена для переробки чавуну й скрапа (металолому) в сталь.

У ванну мартенівської печі загрузають шихту (чавун, скрап, легіруючі речовини, вапняк), подають природний газ, повітря та кисень. При згорянні природного газу здійснюється нагрів і плавлення шихти, вигорання вуглецю.

Використання кисню для інтенсифікації процесу в печі збільшує запиленість відходящих газів до 10–15 г/м³. Пил на 85–88 % складає з оксидів заліза, які є частково продуктами возгонки металу в реакційній зоні ванни, а частково – продуктами механічного уносу димовими газами частини розплаву.

Кількість часток менш 1×10^{-6} м досягає 70–85 %. Зі шкідливих домішок газів містять:

CO – до 1 %, утворюється в результаті неповного окислення вуглецю, який міститься у чавуні;

SO₂ – утворюється в результаті окислення сірки, яка міститься у чавуні;

NO_x – утворюється в результаті окислення азоту, який міститься у повітрі, яке подається у піч при високих температурах.

14.5 Виробництво прокату

У прокатному виробництві виділення забруднюючих речовин в атмосферу у порівнянні з іншими цехами заводів чорної металургії значно менше.

Основними джерелами викидів є таке обладнання і установки:

- прокатні стани;
- машини вогневої зачистки;
- травільні відділення.

Прокатні стани. При гарячій прокатки металу пил утворюється при подібною окалини валками прокатного стану та випаровування в результаті миттєвого збільшення тиску й температури. На 1 тону прокату виділяється до 100 г пилу, 20 % пилу мають розмір до 10 мкм.

Машини вогневої зачистки. Зачистка поверхні заготовки здійснюється за допомогою горілок в результаті розплавлення й часткового згоряння верхнього шару металу, товщиною 1–6 мм. Частка розплавленого металу за допомогою гідрозмиву потрапляє у лоток, який розташований над релінгом, й водою транспортується у яму для окалини. Друга частина випаровується, сгораєта у вигляді пилу виноситься з машини з відходящим газом.

Травільні відділення. Для удаління окалини з гарячекатаної полоси перед холодною прокаткою використовують травління у соляній або сірчаній кислоті. В атмосферу потрапляють *пари кислот*, які виділяються з поверхні травільних ванн. Унос парів соляної кислоти з поверхні ванни за добу може досягати 3 % кислоти, яка міститься в неї.

15 КОЛЬОРОВА МЕТАЛУРГІЯ

Найбільш суттєвий вклад в забруднення повітряного басейну підприємствами кольорової металургії вносять заводи по виробництву *алюмінію*.

Алюміній виробляють у дві стадії:

1 Рафінування бокситів (горна порода, яка складається в основному з гідратів глинозему) до оксиду алюмінію Al_2O_3 (глинозему);

2 Відновлення оксидів алюмінію в електролизерах.

При виробництві Al_2O_3 з бокситів руду дробять, висушують, виваровують у нагретому каустичному розчині, обжигают во вращающихся печах при температурі $1300^\circ C$.

Виробництво глинозему супроводжується виділенням великої кількості запиленних газів. Вміст пилу в газах може досягати

- у дробарках, млинах – $5-20 \text{ г/м}^3$
- у сушилках – до 80 г/м^3 ;
- в обжигових печах – $20-80 \text{ г/м}^3$.

Крім пилу відходящі гази містять: HCl , HF , CO , SO_2 .

Електроліз здійснюється у розплаві оксиду алюмінію та кріоліту при температурі більш $658^\circ C$. Потрібний склад електроліту підтримується за рахунок добавок солей фтору. У процесі електролізу мають місце втрати фтору за причини термодисоціації кріоліту на його складові: фториди натрію й алюмінію, які частково випаровуються.

Питомий обсяг відхідних газів може досягати $(4-6) \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{т}$ алюмінію.

Питомий викид забруднюючих атмосферу речовин становить:

- сполуки фтору – до 20 кг/т ;
- сірчані сполуки до $10-12 \text{ кг/т}$;
- смолисті речовини до 11 кг/т ;
- пил $30-85 \text{ кг/т}$.

Приблизна концентрація шкідливих речовин у газах:

- HF – 65 мг/м^3 ;
- сполуки сірки – 40 мг/м^3 ;
- смола – 55 мг/м^3 ;
- пил – 100 мг/м^3 .

Дисперсний склад пилу електролизних ванн приведений в таблиці 15.1.

Таблиця 15.1 – Дисперсний склад пилу

Розмір часток, мкм	0–2	2–5	5–10	10–20	>20
Склад, %	7–25	6–25	8–20	9–18	70–12

16 БУДІВЕЛЬНА ПРОМИСЛОВІСТЬ

16.1 Виробництво цегли

Виробництво цегли включає такі операції:

- добичу, дробління, просеювання, складання шихти з вихідних матеріалів;
- формування цегли й різання;
- сушку й обжиг.

В якості вихідного матеріалу використовується глина з додаванням шлаку, піску, опилок, коксу та води. Перед обжигом глиняні форми повністю висушуються за рахунок використання тепла від пічей спалювання.

Для обжигу цегли використовуються печі тунельного типу, які працюють на газі, нафті або вугіллі. В процесі обжигу в цеглі здійснюється випаровування води, дегідратація, окислення, спікання та охолодження. Форми для глини встановлюються на невеликі тележки, які повільно рухаються через нагрітий тунель.

При виробництві цегли основними джерелами утворення забруднюючих речовин є такі:

1) вантажно-розвантажувальні роботи, транспортування, дозування, зберігання – дають викиди частинок дрібнодисперсної сухої глини і її домішок;

2) згоряння палива в печах, процеси оголення та випаровування домішок, які знаходяться в глині, дають викиди, які містять

- аерозолі;
- діоксид сірки;
- оксиди азоту;
- оксид вуглецю;
- фториди.

Склад викидів залежить від виду палива, домішок і робочих температур в печі.

Середній питомий обсяг викидів складає 30–40 кг/т.

16.2 Виробництво цементу

Процес виробництва цементу включає такі стадії:

- Добування, дроблення, змішування вихідних матеріалів. Сировиною є суміш природного вапняку і глини або глинистих сланців. Вапняк і глину видо-

бувають у кар'єрах, розташованих, як правило, неподалік від заводу. Самоскидами або вагонетками транспортують на дробарку, де здійснюється первинне і вторинне дроблення, дозування, транспортування вихідної сировини.

– Виробництво клінкеру, яке здійснюється в обертових печах, що представляють собою похилий сталевий циліндр. Паливо (вугілля, нафта або газ) спалюють в нижньому торці печі. Сировина подається в верхній торець і обертаючись рухається вниз. Здійснюється процес нагріву і випаровування вологи, видалення зв'язаної води і вуглекислого газу, отримання нових сумішей, таких як силікати, алюмінати, ферити. Клінкер формується у вигляді сферичних твердих зерен.

Охолодження, відвантаження клінкеру, змішання його з гіпсом, дроблення, зберігання, розфасовка цементу.

Джерелами утворення забруднюючих речовин в атмосферу при виробництві цементу є:

– видобуток, зберігання, дроблення, дозування і транспортування вихідної сировини;

– процес випалу в печі;

– подрібнення клінкеру і виробництво цементу.

В атмосферу викидаються такі забруднюючі речовини:

– пил – в результаті різних видів робіт з сипучими, мелкодисперсними матеріалами;

– продукти згоряння з печі, що містять оксиди азоту та діоксид сірки в кількостях (склад залежить від виду використовуваного палива і організації процесу спалювання).

Кількість пилу, що надходить в атмосферу Π (кг / т), визначають за формулою:

$$\Pi = 10^{-3} \cdot V \cdot C, \quad (16.1)$$

де V – обсяг забрудненого повітря, $\text{м}^3 / \text{кг}$ продукту (табл. 16.1);

C – концентрація пилу в потоці забрудненого повітря, $\text{г} / \text{м}^3$ (табл. 16.1).

Таблиця 16.1 – Усереднені показники викиду пилу на заводах цементного виробництва

Цех	Джерело викиду	Об'єм забрудн. повітря, м ³ /кг продукту	Температура, °С	Концентрація пилу, г/м ³	Джерело пилу
Сировинний цех	Дробарка шнекова	0,07	18	13	вапняк
	Дробарка молоткова	0,1	19	20	вапняк
	вузли перевантаження	0,4	25	20	вапняк
Відділення випалу	Обертіві печі мокрого способу виробництва	5	200	50	вапняк
	Обертіві печі сухого способу виробництва	3	290	40	вапняк
Сушильне відділення до-бавок	Сушильний бару-бан:				
	шлак	1,7	135	20	шлак
	вапняк	0,8	70	40	вапняк
	глина	2,8	75	5	глина
Цех помолу	Цементні млини відкритого циклу з центральним розвантаженням	0,46	100	60	цемент
Цех відвантаження цементу	Цементні млини сепараторні	0,92	900	70	цемент
	Пакувальні машини	0,66	50	95	цемент

16.3 Виробництво вапна

Розрахунок викиду пилу при виробництві вапна ведеться за формулою (16.1). Усереднені показники викиду пилу на заводах вапняного виробництва представлені в таблиці 16.2.

Питома викид пилу на 1 тонну продукції становить 190,9 кг.

Таблиця 16.2 – Усереднені показники викиду пилу на заводах вапняного виробництва

Джерело викиду	Об'єм забрудненого повітря, м ³ /кг продукту	Температура, °С	Концентрація пилу, г/м ³	Джерело пилу
Дробарка шнекова	0,7	16	15	вапняк
Гуркітизвестняк	0,07	18	14	вапняк
Вузли перевантаження	0,23	27	15	вапняк
Обертові печі мокрого способу виробництва	6	215	32	вапно
Обертові печі сухого способу виробництва	7,5	320	35	вапно
Млини помелу вапна	0,35	80	65	вапно
Вузли перевантаження вапна	0,5	30	27	вапно
Пакувальні машини	0,5	28	13	вапно

16.4 Виробництво скла

Виробництво скла включає наступні основні операції:

1) *підготовка* сировинних компонентів і отримання шихти. Вихідний матеріал зважується, змішується у відповідній пропорції і транспортується. В якості вихідного матеріалу застосовують пісок, кальциновану соду, вапняк, бите скло;

2) *варка* у скловаренній печі (1 500–1 600 °С). Використовуються печі періодичні: горшкові і ванні; безперервно діючі ванні пічі для варіння масових промислових стекол (листова скло, тарне). У печах паливом служить газ або мазут. Вихідний матеріал, що надходить в піч, флотується на розплавленому склі, розплавляється і поступово подається в відсік формування варіння;

3) *формування* роводиться при 700–1 000°С на склоформуючих машинах відливанням у форми, штампуванням, пресуванням, прокаткою, витягуванням, видуванням і т.д. Листове поліроване скло одержують у такий спосіб: розплавлене скло подається в камеру, яка містить розплавлене олово. Скло твердне на поверхні олов'яної ванни і набуває плоско паралельність верхньої і нижньої поверхонь листа.

В атмосферу надходять такі забруднюючі речовини:

– аерозолі, що виникають при зверненні з вихідною сировиною в кількості 0,018–0,027 кг/т;

– аерозолі з скловарних печей – 0,45–1,3 кг/т. Середній розмір частинок 0,1–0,13 мкм. Обсяг викидів залежить від вмісту летких компонентів у вихідній сировині (табл. 16.3);

– діоксид сірки, утворюється при згоранні сірки, що міститься в паливі і при розкладанні сульфатів в скляній шихті, в основному сульфату натрію;

– діоксид азоту, утворюється шляхом термічного зв'язування атмосферного азоту в печі;

– фтористі з'єднання і арсен, утворюються з мінеральних домішок у вихідній сировині.

Таблиця 16.3 – Усереднені показники викиду пилу на заводах скляної промисловості

Джерело викиду	Об'єм забрудненого повітря, м ³ /кг продукту	Температура, °С	Концентрація пилу, г/м ³	Джерело пилу
Регенеративна скловатаренная піч виробництва облицювальної плитки	1 800	400	0,2	Матеріал готової продукції
Скловарна піч прямого нагріву виробництва коврово-мозаїчної плитки	10 400	600	0,2	
Піч, виробництва алюмо-боросилікатного скла	15 100	750	0,06	
Регенеративна піч виробництва кришталю	5 000	450	0,1	

16.5 Виробництво нерудних будівельних матеріалів

Вихідною гірничою масою при виробництві нерудних будівельних матеріалів є граніти, вапняки, доломіт, пісковики, мармури, а також гравій і пісок гравійно-піщаних родовищ.

Найбільш інтенсивним пилоутворенням супроводжуються процеси дроблення, сортування (просіювання), перевантаження і транспортування.

У процесі теплової обробки керамічних виробів забруднюючі речовини виділяються

– в результаті реакцій, що відбуваються між основними компонентами сировини;

– при спалюванні палива в теплових агрегатах.

З компонентів сировини виділяються сполуки сірки, хлору, фтору, водорозчинні солі сірчаної і соляної кислот, оксиди вуглецю, сірчистий і сірчаний ангідрид, фтористий водень.

При спалюванні рідкого і газоподібного палива утворюється зола, оксиди азоту, сірки, вуглецю.

Сумарні питомі викиди визначаються видом продукції (табл. 16.4).

Таблиця 16.4 – Питомі викиди забруднюючих речовин при керамічному виробництві (г/кг продукції)

Продукція	Діоксид сірки		Діоксид азоту		Оксид вуглецю	
	г/кг	г/м ³	г/кг	г/м ³	г/кг	г/м ³
Облицювальні плитки	0,72	9,3	2	26	1,98	26
Плитки для підлог	0,28	8,6	1,05	32,5	1,2	37,9
Фасадні плитки	0,18	5	1,85	40	1,4	38
Санстройізделія	2,95	–	3,92	–	4,23	–
Каналізаційні труби	1,9	–	0,45	–	–	–

16.6 Мінераловатне виробництво

Основними джерелами забруднення атмосфери в мінераловатній виробництві є вагранки і камери волокноосадження.

Вагранкові гази містять: пил, оксид вуглецю, діоксид сірки, оксиди азоту.

Одна вагранка діаметром 1250 мм викидає 3–12 тис.м³ / год газів, які містять

CO – 100 г/м³,
SO₂ – 0,2 г/м³,

NO_x – 0,05 г/м³,
пыль – 0,2 г/м³.

Як в'язучі речовини під час виробництва мінераловатних виробів застосовуються фенолоспірти й бітуми. При цьому з камери волокноосадження викидається в атмосферу від 0,6 кг/год до 14,1 кг/год фенолу і від 0,2 кг/год до 24 кг/год формальдегіду.

З камери теплообробки – від 0,3 кг/год до 11,6 кг/год фенолу і від 0,5 кг/год до 14,8 кг/год формальдегіду.

16.7 Виробництво бетону

Бетон виробляють шляхом змішування відміряних доз піску, цементу, наповнювача і води.

В атмосферу викидається пил, що утворюється при навантаженні, розвантаженні, транспортуванні матеріалів, особливо цементу, тому що 10–20 % цементу складається з частинок розміром менше 5 мкм.

Основними джерелами забруднення атмосфери при виробництві залізобетонних виробів є

- пости розвантаження залізничних вагонів з цементом, піском, щебенем;
- розвантаження цементу в ємності пневмотранспортом;
- витратні бункери;
- бетонозмішувачі;
- ємності для приготування та зберігання мастильних матеріалів;
- пости ручного і полуавтоматичного зварювання, виготовлення арматури.

При розвантаженні сипучих матеріалів із залізничних вагонів, кількість пилу Pr (г / с) визначається за формулами:

$$\text{цемент} \quad Pr = 0,03 B G;$$

$$\text{пісок} \quad Pr = 0,015 B G;$$

$$\text{щебінь} \quad Pr = 0,058 B G,$$

де B – коефіцієнт, який залежить від висоти пересипання матеріалу (табл. 16.5);

G – продуктивність вузла пересипання, т/год.

Таблиця 16.5 – Залежність коефіцієнта B від висоти пересипання

Висота пересипання, м	0,5	1	1,5	2	4	6	8	10
B	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,5	2,5	2,5

Кількість пилу Pc (кг/год), що виділяється при перекачуванні цементу пневмотранспортом, визначається за формулою:

$$Pc = 10^{-3} \cdot V_2 \cdot C,$$

де V_2 – середній вихід забрудненого газу, м³/год;

C – середня концентрація цементу в потоці забрудненого газу, г/м³.

Кількість пилу Pc (г/с), що виділяється при складуванні інертних матеріалів розраховується за формулами:

$$\text{– для щебеню} \quad Pc = 0,018 (3,2G + F);$$

– для піску – $P_c = 0,015 G$,

де G – продуктивність вузла пересипання, т/год;

F – площа складування матеріалу, м².

Для орієнтовної оцінки виділення пилу для основних технологічних переділів при виробництві залізобетонних виробів можна скористатися усередненими показниками (табл. 16.6).

Таблиця 16.6 – Усереднені показники виділення пилу для основних технологічних переділів при виробництві залізобетонних виробів

Джерело виділення речовини	Речовина	Концентрація пилу в газах, г/м ³	Питоме пиловиділення, г/т
Пости вивантаження вагонів	Цементний пил	–	0,08
	Щебінь	–	0,11
	Пісок	–	0,03
Пневмотранспорт, склади, сховища	Цементний пил	8,2	0,8
Дозатори, бетонозмішувачі	Цементний пил, пил інертних газів	3,2	1,33

16.8 Виробництво керамзиту

Основними джерелами виділення пилу при виробництві керамзиту (коричневі пористі кульки) є печі випалу керамзиту, сушильні камери і пости завантаження транспортних засобів (табл. 16.7).

Таблиця 16.7 – Усереднені показники виділення забруднюючих речовин при виробництві керамзиту

Джерело виділення речовини	Забруднююча речовина та використане паливо	Концентрація речовини в газі, г/м ³	Питоме пиловиділення, кг/м ³ керамзиту
Піч обжигу керамзиту	Керамзитовий пил (газ, мазут)	2,2	7,3
	Оксиди азоту:		
	– газ,	0,13	0,5
	– мазут.	0,02	0,1
	Оксид вуглецю:		
	– газ,	0,08	0,4
	– мазут.	0,14	0,38
Пост навантаження керамзиту	Діоксид сірки: –мазут.	0,07	0,16
	Керамзитовий пил	–	0,7

16.9 Виробництво асфальтобетону

Асфальтобетонне дорожнє покриття складається з таких компонентів:

- *бітума* (сполучна) – продукту перегонки нафти, рідкого при температурі 120–180 0С і твердого при більш низьких температурах;
- *наповнювача* (щебеня, гравію, піску, шлаку).

Технологія виробництва включає наступні етапи:

- видобуток, транспортування наповнювача;
- сушка наповнювача;
- сортування наповнювача за розмірами й дозування;
- перемішування з бітумом, який подається з нагрітих баків.

В якості палива при виробництві асфальтобетону використовується газ, мазут, дизпаливо.

В атмосферу викидаються наступні забруднюючі речовини:

- пил, який викидається під час навантаження, розвантаження, складування сипучих матеріалів, пил із сушильних барабанів. Об'єм викидів пилу і дисперсний склад залежать від виду наповнювача, складає близько 20 кг/т, 50 % часток мають розмір більше 50 мкм;

– продукти згорання палива. Орієнтовно сумарні викиди оксиду вуглецю і оксидів азоту досягають 0,045 кг/т, альдегідів- 0,01 кг/т;

- пахучі смолисті речовини з місць зберігання і змішування асфальту.

Викиди (*П*) при навантаженні, розвантаженні й складуванні можна орієнтовно оцінити за формулою:

$$P=0,01 \cdot P \cdot m,$$

де *P* – втрати матеріалів, % (табл. 16.8);

m – маса матеріалу.

Проведення будівельних робіт супроводжується сильним виділенням пилу в результаті

- вітрової ерозії разрихленої землі;
- рух транспорту по шляхам без покриттів;
- навантаження – розвантаження сипучих матеріалів.

Таблиця 16.8 – Зменшення матеріалів Р при зберіганні, навантаженні та розвантаженні

Матеріал	Вид зберігання	Зберігання	Навантаження	Розвантаження
		Р, %		
Щебень	Відкритий склад в штабелях	0,5	0,4	0,4
	Механізоване складування	1,0	0,4	0,5
Цемент	Склад бункерного типу	0,1	0,25	0,25
	Відкритий склад	1,2	0,5	0,6
Холодний ас-фальт	Відкритий склад	0,7	0,25	0,25
Бітум	Ямні сховища	0,5	0,1	0,2
	Наземні резервуари	0,5	0,1	0,1

17 ВИДОБУТОК МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

Мінеральна сировина добувається в шахтах (рудніках) або у відкритих розробках.

Джерелами забруднення атмосфери є терикони, відвали, відкриті розрізи, участки навантаження, розвантаження й транспортування сипучих матеріалів. В результаті їх ветрової ерозії мають місце викиди в атмосферу.

Вугільні терикони і відвали виділяють в атмосферу газів, які містять: CO, CO₂, SO₂, H₂S, NO_x.

При проведенні вибухових робіт утворюється пилогазового хмара, що містить пил подрібненої породи, CO, NO_x.

17.1 Викиди забруднюючих речовин підприємствами вугільної промисловості

Розрахунок викидів забруднюючих речовин підприємствами вугільної промисловості здійснюється наступним чином:

1. Розрахунок кількості газів Π (т/доб), які виділяються з діючих палаючих териконів і хребтових відвалів виконується за формулою:

$$\Pi = 0,001 m H D,$$

де m – коефіцієнт, який залежить від якості вугілля (табл. 17.1);

H – висота відвала, м;

D – кількість породи, яка видається у відвал, т/доб.

Таблиця 17.1 – Коефіцієнт m , який залежить від якості вугілля

Забруднююча речовина	Донецький басейн	Львівсько-Волинський басейн
CO	0,2	2
CO ₂	2,5	9,3
SO ₂	0,02	0,5
H ₂ S	0,01	0,03
NO _x	0,002	0,006

2. Розрахунок кількості газів Π_{nl} (т/доб) від палаючих плоских відвалів виконується за формулою:

$$\Pi_{nl} = 0,001 q (0,036S - 0,052H \sqrt{S}),$$

де q – питома газовиділення, кг/м² доб;

S – площа підстави плоского відвалу, м²;

H – середня висота відвалу, м.

Для вугілля Донецького басейну значення q становить

$$\begin{array}{lll} q_{CO} - 7,6, & q_{H_2S} - 0,5, & q_{SO_2} - 1,7. \\ q_{CO_2} - 138, & q_{NOx} - 0,12, & \end{array}$$

3. Розрахунок кількості газів Π_n (т/доб) з недіючих (після закінчення експлуатації) відвалів (недіючих менш 3-х років) виконується за формулою:

$$\Pi_n = f \Pi,$$

де f – коефіцієнт, який залежить від часу, протягом якого відвал не діє

$$\text{через 1 рік} \quad f = 0,5;$$

$$\text{через 2 роки} \quad f = 0,3;$$

$$\text{через 3 роки} \quad f = 0,1 \text{ (Потім виділення стають незначними);}$$

Π – кількість забруднюючих газів, які виділяються з відвалів під час експлуатації, т/добу.

4. Розрахунок кількості пилу Π_1 (т/доб) з діючих териконів і хребтових відвалів виконується за формулою:

$$\Pi_1 = 0,001 k H D,$$

де k – коефіцієнт, який залежить від висоти відсипки і кількості породи, $k \approx 0,01$;

D – кількість породи, яка видається у відвал, т/доб.

5. Розрахунок кількості пилу Π_2 (т/доб) з недіючих відвалів виконується за формулою:

$$\Pi_2 = 2 \cdot 10^{-5} S,$$

де S – поверхня відвалу, м².

6. Розрахунок кількості пилу Π_4 (кг/с) з відкритих площ (відвалів, уступів) в вугільних розрізах виконується за формулою:

$$\Pi_4 = S W_c \gamma,$$

де S – відкрита площа, м^2 ;

W_c – питома сдуваемість пилу з урахуванням швидкості вітру на дні розрізу і на поверхні відвалу, $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ с}$:

для вугільногопилу $W_c = 1 \times 10^{-6} \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ с}$;

для пилу породи (на відвалі) $W_c = 0,1 \times 10^{-6} \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ с}$;

γ – коефіцієнт подрібнення гірської маси, $\gamma \approx 0,1$

7. Розрахунок кількості пилу Π_6 (кг/с с 1 м довжини) з ленточного конвейєру виконується за формулою:

$$\Pi_6 = W_c L \gamma,$$

де W_c – питома здуваемість пилу, $\omega_c \approx 1 \times 10^{-5} \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ с}$;

L – ширина конвейєрної ленти, м;

γ – коефіцієнт подрібнення гірської маси (для роторних екскаваторів $\gamma \approx 0,1$ м).

8. Розрахунок параметрів пилогазового облака при вибухових роботах.

При вибухових роботах в атмосферу викидається пил, CO, NO_x. Над місцем взриву утворюється пилогазове облако, яке характеризується об'ємом, висотою підйому, температурою, концентрацією забруднюючої речовини.

Об'єм пилогазового хмари дорівнює:

$$V_0 = 44\,000 A^{1,08}, \text{ м}^3$$

де A – кількість підірваної вибухової речовини, т.

Висота пилогазового облака, H_0 , м:

$$H_0 = b (164 + 0,258 A),$$

де b – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від глибини свердловини: при глибині до 15 м – $b=1$, більше 15 м – $b = 0,8$.

Температура газу в облаці T_0 , $^{\circ}\text{C}$:

$$T_0 = T_g + \Delta T,$$

де T_g – температура навколишнього повітря;

ΔT – перегрів газового облака відносно навколишнього повітря (табл. 17.2).

Таблиця 17.2 – Значення ΔT в залежності від кількості підорваної вибухової речовини A

$A, \text{т}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	0,4	0,6	0,97	1,4	1,79	2,24	2,82	3,44	4,09	4,8

Концентрація забруднюючої речовини в пилогазовому облаці C , $\text{мг}/\text{м}^3$ (при використанні одного виду вибухової речовини):

$$C = \frac{10^9 q A}{V_0} \left(1 - \frac{\eta}{100} \right),$$

де q – питоме виділення забруднюючої речовини при вибуху 1т вибухової речовини (ВВ), т/т (табл. 17.3);

η – ефективність засобів пилогазоподавлення, які використовуються під час вибуху, %.

Для визначення q попередньо розраховується питома витрата V_B на 1 м^3 вибухової горної маси Δ :

$$\Delta = 1000 A / V_{\text{зм}},$$

де $V_{\text{зм}}$ – обсяг вибухової гірничої маси, м^3 .

Для оксидів азоту $q = 0,0025$ т/т. Значення η при гідрозабойці свердловин складають для пилу – 60 %, для газів – 85 % від зазначених в таблиці 17.3.

Кількість забруднюючої речовини P_0 , т яка викидається з пилогазовим облаком за межі розрізу:

$$P_0 = 10^{-9} k q V_0,$$

де k – коефіцієнт, який враховує гравітаційне осадження забруднюючої речовини в межах розрізу: для пилу $k = 0,16$; для газів $k = 1,0$.

Таблиця 17.3 – Питоме виділення пилу/оксиду вуглецю q

Δ , $\text{кг}/\text{м}^3$	q , т/т		
	Вибухова речовина		
	грамоніт 79/21, амоніт №6ЖВ	інданіт, грануліт М	грамоніт 30/70-В
0,05	0,148/0,104	0,151/0,009	0,155/0,04
0,1	0,088/0,076	0,092/0,07	0,096/0,037
0,2	0,061/0,04	0,067/0,005	0,073/0,032
0,4	0,06/0,012	0,072/0,002	0,085/0,023
0,6	0,079/0,003	0,102/0,001	0,133/0,017
0,8	0,116/0,001	0,164/0,001	0,233/0,012
1,0	0,182/0,001	0,282/0,001	0,436/0,009

18 ПЕРЕРОБКА НАФТИ І ЗБЕРІГАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ

Крекінг – переробка нафти і її фракцій для отримання моторних палив, а також хімічної сировини, яка протікає з розпадом важких молекул.

Розрізняють такі основні види крекінгу:

– *термічний* крекінг- під впливом високої температури (470–750 °С, Р = 0–60 атм); проводять в трубчастих печах або реакторах;

– *каталітичний* крекінг– при одночасному впливі високої температури і каталізаторів (450–520°С, Р = 2–3атм, проводять в реакційних колонах з неруховим або циркулюючим каталізатором);

– *каталітичний гідрокрекінг* – каталітичний крекінг в присутності водню (350-450°С, Р = 30–140атм).

Основні процеси крекінгу, які є джерелом забруднення атмосфери:

1) при каталітичному крекінгу виділяються: діоксиди сірки, оксиди азоту, аерозолі, вуглеводні, аміак. Викиди відбуваються з регенератору і дожига-теля СО;

2) при каталітичному крекінгу в короткі проміжки часу можуть виділятися СО, аміак, сірководень, за рахунок регенерації каталізатору;

3) з систем обогріву апаратів – аерозолі, діоксид сірки, СО, вуглеводні, альдегіди, діоксиди азоту. Об’єм викидів залежить від типу палива (нафта, газ или мазут) і від типу горілок;

4) при спалюванні в факелі – СО, діоксид сірки, оксиди азоту.

При складуванні та зберіганні: всі резервуари з рідиною, яка містить легкі вуглеводні, включаючи сиру нафту, є потенційними джерелами викиду вуглеводнів в атмосферу. При змінненні атмосферного тиску резервуар «дихає», викиди відбуваються при наповненні і спорожненні, через ущільнення кришки.

Кількість викидів в атмосферу забруднюючих речовин P_p , (кг/ч) з резервуарів с однокомпонентними рідинами за рахунок випаровування розраховується за формулою:

$$P_p = 4,46 V_{ж}^p P_{S(38)} M_n (K_{5x} + K_{5T}) K_6 K_7 (1-\eta) 10^{-9},$$

де $V_{ж}^p$ – об’єм рідини, яка заливається в резервуар протягом року, м³/рік;

$P_{S(38)}$ – тиск насичених парів рідини при температурі 38 °С, гПа;

M_n – молекулярна маса парів рідини, г/моль;

K_{5x} , K_{5T} – поправочні коефіцієнти (табл. 2.40), які залежать від тиску насичених парів $P_{S(38)}$ і температурі газового простору t_T^p відповідно в холодну та теплу пору року;

K_6 – коефіцієнт, який залежить від тиску насичених парів та оборотності резервуарів за рік;

K_7 – коефіцієнт, який залежить від технічної оснащеності і режиму експлуатації;

H – ступінь очистки газозуловлювального пристрою резервуару (в долях одиниці).

Значення $P_{S(38)}$ визначається для нафти і нафтопродуктів за таблицею 18.1 в залежності від еквівалентної температури начала кипіння $t_{\text{екв}}^{\circ}\text{C}$, яка розраховується за формулою:

$$t_{\text{екв}} = t_{\text{нк}} + (t_{\text{кк}} - t_{\text{нк}})/8,8,$$

де $t_{\text{нк}}$, $t_{\text{кк}}$ – відповідно температури начала і кінця кипіння многокомпонентної рідини, $^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 18.1 – Значення $P_{S(38)}$ залежно від $t_{\text{екв}}$

$t_{\text{екв}}, ^{\circ}\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$P_{S(38)}$	1808	1310	944	673	476	332	231	158	106	72	48
$t_{\text{екв}}, ^{\circ}\text{C}$	130	140	150	160	170	180	190	200	250	300	400
$P_{S(38)}$	32	21	13	8,5	5,3	3,3	1,9	1,3	0,09	$4 \cdot 10^{-3}$	$3,3510^{-6}$

Значення молярної маси парів нафтопродуктів M_n , визначається в залежності від температури начала кипіння $t_{\text{нк}}$ (табл. 18.2).

Таблиця 18.2 – Молярна маса парів M_n , г/моль

$t_{\text{нк}}$	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
M_n	63	69	75	81	87	93	98	102,5	112	122	133,5
$t_{\text{нк}}$	180	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500
M_n	146	159	172,5	187,5	203,5	220	237,5	289,5	350	422	510

Температуру газового простору t^p , необхідну для знаходження K_{5x} , K_{5T} визначають по середнім значенням температур у відповідних емностях за шість найбільш холодних і шість найбільш теплих місяців року.

Для наземних металевих, які не обогріваються та підземних залізобетонних резервуарів температура за 6 найбільш холодних місяців t^p_{ex} и за 6 найбільш теплих місяців t^p_{em} визначаються відповідно за формулаи:

$$t^p_{\text{ex}} = K_{1x} + K_{2x} t_{\text{ax}} + K_{3x} t^p_{\text{жх}},$$

$$t^p_{\text{em}} = K_4 (K_{1m} + K_{2m} t_{\text{am}} + K_{3m} t^p_{\text{жст}}),$$

де t_{ax} , t_{am} – середне арифметичне значення температури атмосферного повітря, відповідно за шість найбільш холодних і шість найбільш теплих місяців року, $^{\circ}\text{C}$;

$K_{1x}, K_{2x}, K_{3x}, K_{1m}, K_{2m}, K_{3m}$ – коефіцієнти за шість найбільш холодних і шість найбільш теплих місяців року (табл. 18.3).

Таблиця 18.3 – Значення коефіцієнтів K_1, K_2, K_3 залежно від температури рідини в резервуарі

Період	Температура в резервуарі, °С	K_1	K_2	K_3
Наземні резервуари				
Шість шість найбільш холодних місяців (зима)	менше 20	0,3	0,37	0,62
	20–35	-1	0,33	0,63
	35–60	-5,77	0,26	0,77
	більше 60	-10,8	0,65	0,89
Шість найбільш теплих місяців (літо)	менше 35	6,12	0,41	0,51
	35–50	4,33	0,37	0,59
	50–75	-2,04	0,57	0,62
	більше 75	-8,41	0,99	0,75
Підземні залізобетонні резервуари				
Шість шість найбільш холодних місяців (зима)	менше 25	1,62	0,19	0,74
	25–40	1,6	0,15	0,72
	40–60	1,6	0,1	0,7
	більше 60	4,2	0,06	0,68
Шість найбільш теплих місяців (літо)	менше 35	6,1	0,17	0,36
	35–50	0,3	0,15	0,75
	50–75	0,4	0,05	0,83
	більше 75	8,95	0,07	0,65

$K_4 = 1$ для підземних резервуарів.

Для наземних резервуарів:

- забарвлення чорне $K_4 = 1,22$;
- алюмінієве $K_4 = 1,0$;
- тепловідбивна емаль, $K_4 = 0,81$;

$t_{жх}^p, t_{жт}^p$ – середні температури нафтопродуктів в резервуарах протягом шести теплих і холодних місяців.

Таблиця 18.4 – Значення коефіцієнта K_5

$t_r, ^\circ\text{C}$	$P_{S(38)}, \text{гПа}$							
	667	533	401	267	142	70,5	16	1,96
-20	0,072	0,066	0,061	0,051	0,039	0,032	0,015	0,006
-15	0,094	0,088	0,081	0,07	0,054	0,047	0,024	0,012
-10	0,122	0,115	0,107	0,093	0,075	0,067	0,036	0,019
-5	0,156	0,148	0,139	0,124	0,103	0,093	0,066	0,03
0	0,197	0,188	0,179	0,161	0,138	0,125	0,08	0,045
5	0,247	0,237	0,228	0,209	0,183	0,17	0,116	0,272
10	0,306	0,297	0,287	0,266	0,239	0,225	0,163	0,109
15	0,377	0,366	0,357	0,337	0,308	0,295	0,227	0,165
20	0,459	0,45	0,441	0,421	0,394	0,381	0,311	0,245
25	0,555	0,547	0,539	0,522	0,498	0,487	0,422	0,356
30	0,665	0,66	0,654	0,642	0,624	0,615	0,564	0,510

Таблиця 18.5 – Значення коефіцієнта K_6 (для середньо-кліматичної зони)

Річне обертання резервуару	$P_{S(38)}, \text{гПа}$					
	<67	67-133	133-266	266-399	399-532	>532
<12	1,26	1,4	1,95	2,5	3,32	34,01
24–27	1,24	1,35	1,8	2,26	2,73	2,33
32–35	1,22	1,31	1,66	2,01	2,22	2,68
40–43	1,2	1,27	1,51	1,74	1,92	2,32
48–51	1,18	1,23	1,4	1,56	1,72	2,08
56–59	1,16	1,2	1,31	1,41	1,54	1,86
64–67	1,14	1,17	1,25	1,34	1,43	1,73
72–75	1,12	1,15	1,23	1,27	1,35	1,64
80–105	1,1	1,13	1,18	1,23	1,3	1,57
132–200	1,08	1,11	1,15	1,19	1,26	1,53
>200	1,07	1,1	1,13	1,17	1,2	1,45

Таблиця 18.6 – Значення коефіцієнта K_7 (пов'язане з обладнанням резервуару)

Оснащення резервуару технічними засобами зменшення втрат	K_7
1. Відбувається змінювання рівня рідини	
а) резервуар, який не обладнаний плаваючою кришкою, має відкритий люк або дихальний клапан, який знято	1,1
– резервуар, обладнаний дихальним клапаном, що підтримує надлишковий тиск, гПа	
<19,6	1
19,6–98,	0,95
98–147,	0,91
147–196,	0,87
196-245	0,87
– резервуар обладнаний понтоном	0,2
– резервуар обладнаний плаваючою кришею	0,15
2. Рівень рідини постійний:	
– резервуар не обладнаний плаваючою кришею, має відкритий люк або дихальний клапан, який знято;	0,3
– резервуар обладнаний дихальним клапаном, що підтримує надлишковий тиск, гПа;	0,2
– резервуар обладнаний понтоном;	0,15
– резервуар обладнаний плаваючою кришею.	0,1

19 ХІМІЧНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ВИРОБНИЦТВО МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

Хімічна промисловість включає види виробництв, де необробні вихідні матеріали мінерального або нафтового походження з'єднуються за допомогою хімічних реакцій в напівпродукти або кінечні продукти.

Складність хімічних виробництв полягає в тому, що на них в кінцевому підсумку проводиться більш ніж 70 000 видів продукції. Разом з побічними продуктами на хімічних підприємствах використовується 500–600 тис. синтетичних сполук.

Часто сировиною для отримання хімічного продукту є відходи інших видів виробництв.

Через свої різноманітності хімпром є самим складним об'єктом для утилізації викидів.

Основні викиди хімічних підприємств такі:

- аерозолі;
- оксиди сірки;
- оксиди азоту;
- вуглеводні;
- оксид вуглецю.

Більшість викидів аерозолей в хімічній промисловості утворюється в процесах дроблення, розмелювання, навантаження, упаковки, транспортування, при виробництві вапняка, гіпсу, глинозему, фосфоритної руди.

Виробництво сірчаної кислоти – основне джерело викидів оксидів сірки.

Виробництво аміаку – оксидів азоту.

Виробництво пластмас – вуглеводнів.

Газової сажі – оксиду вуглецю.

Хімічні добрива – це хімічні сполуки, які містять одну або кілька головних поживних речовин для рослин – азот, фосфор, калій. Існує багато способів виробництва сполук, які містять кожен з цих речовин. Прикладами добрив, які широко використовуються є мочевина, яка містить азот, гранульований суперфосфат, який містить фосфор, хлористий калій.

Головними забруднюючими атмосфери речовинами при виробництві добрив є аерозолі. Основні джерела викиду аерозолей – дробління і сортування матеріалів, грануляція, сушка і охолодження добрив, які отримують в реакторі, їх розфасовка.

Деякі виробничі цикли викидають газоподібні забруднювачі, такі як аміак, фториди, формальдегід.

Мочевина – саме розповсюджене азотне добриво. Процес виробництва полягає в отриманні розчину карбаміду шляхом реакції амаку з діоксидом вуглецю з наступним його обезвожуванням за реакцією:

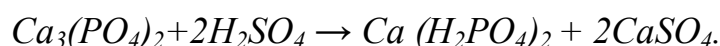
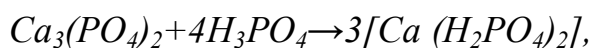


Розчин в подальшому може піддаватися сушінню шляхом випарювання або кристалізації.

Викиди при виробництві мочевины містять наступні забрунюючі речовини:

- тверді частки – до 150 кг/т;
- аміак – до 14 кг/т;
- формальдегід – до 10 кг/т.

Суперфосфат (подвійний і простий) – отримують шляхом обробки фосфоритної руди ортофосфорною (серчаною) кислотою в результаті наступних хімічних реакцій.



Головна забруднююча атмосферу речовина у виробництві суперфосфату – фтористі сполуки в газоподібному стані у виді аерозолей. Газоподібні фториди можуть виділятися й з готової продукції протягом 3–5 днів після виробництва. Відповідно будівля складу є джерелом викидів фторидів.

Викиди фторидів складають

- у процесі виробництва – до 100 г/т P_2O_5 ;
- при зберіганні – до 0,25 г/ч на 1 т P_2O_5 .

Хлористий калій отримують в процесі відділення хлористого калію від хлориду натрію і глини. Сировину дроблять, а потім розщипляють шляхом флоатації або кристалізації.

Викиди в атмосферу відбуваються під час дроблення, просіювання, транспортування, сушки, пресування, зберігання, навантаження.

20 ВИРОБНИЦТВО ПАПЕРУ

Процес виробництва паперу відбувається в два етапи:

- 1) перетворення деревини в пульпу;
- 2) виробництво паперу.

Древесна пульпа готується механічним або хімічним способом.

Механічне приготування – розщиплення і подрібнення деревини з метою вивільнення волокон. Цей процес практично не супроводжується забрудненням атмосфери. Виняток становлять котельні, необхідні для внутрішньозаводського виробництва енергії.

Деревина містить целюлозу й лігнін.

При хімічному приготуванні пульпи деревесні волокна висвобождаються в результаті розчинення речовини, яка зв'язує лігнін. Основний хімічний метод, який найбільш часто використовують – *крафт-процес*.

Щоб отримати целюлозу, яка пригодна для виробництва папіру, необхідний хімічний процес для видалення лігніну. Для цього деревесні щіпки випаровують в сульфатній варочній рідині (водний розчин сульфід натрія і гідроксиду натрію) – так звана «біла рідина». Потім проводять кілька проміжних стадій промивання пульпи водою. Оброблена варочна рідина і вода після промивання пульпи змішується разом, утворюючи слабку «чорну рідину», яка концентрується многоступеневою випаркою. Концентрована чорна рідина подається в топку.

Процес виробництва целюлози супроводжується виділенням сірководню, меїлмеркаптану, діметілсульфіду, діметілсульфату, оксиду сірки (табл. 19.1).

Таблиця 19.1 – Питомі викиди забруднюючих речовин при виробництві сульфатної целюлози

Процес	Викиди, г/т целюлози				
	сірко-водень	діметіл-меркаптан	діметіл-сульфід	діметіл-сульфат	двоокис сірки
Варіння целюлози	4,7	443,7	300,4	120	–
Розвантаження варочних котлів без очищення й охолодження парів закипання	–	–	–	–	36 000
Промивання целюлози у вакуумпромивній установці	–	–	–	–	600

21 СПАЛЮВАННЯ, ЗВАЛИЩА ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

На кожного жителя великого міста приходиться 1 м³ мусору в рік. Склад мусору: пищеві відходи, папір, метал, скло, полімерні матеріали.

Джерелами забруднення повітряного басейну слугують:

- смиттєві звалища;
- смиттєспалювальні заводи, де сміття спалюють у спеціальних котельних установках з утилізацією тепла.

З продуктами спалювання в атмосферу потрапляють:

- пил, в кількості 150–250 мг/м³;
- діоксид сірки – 200–1 000 мг/м³;
- СО до 0,3 %;
- альдегіди і органічні кислоти 0,3–1,5 %;
- канцерогенні речовини – 6,5–7 мг/т сміття;
- HF і діоксини (сліди).

22 ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ПРОВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОБІТ

Харчова промисловість. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу підприємствами харчової промисловості істотно менше, ніж в інших видах виробництв. Їх небезпека полягає в тому, що вони зосереджені, як правило, в жилих районах міст. Виділяють два основних види процесів:

- 1) обробка сухих сипучих продуктів (зерно, сіль, крупа, крохмал);
- 2) процеси термічної обробки продуктів (копчення, варіння).

Виділення аерозолів при переробці сухих продуктів перебуває в таких межах (на тонну готової продукції):

- виробництво крохмалу – близько 3,65 кг/т;
- млини для соєвих бобів – до 2,2 кг/т;
- переробка зерна на пиво й горілку – 1,4 кг/т.

Оскільки пилові частки утворюються в основному за рахунок дробління, їх розміри відносно великі і знаходяться в межах від 2 до 500 мкм.

Дими і викиди частинок, які утворилися в процесі термічної обробки, містять частинки субмікронного розміру – від 0,05 до 5 мкм і супроводжуються виділенням газів.

Сільськогосподарські роботи. Площа під посівами на планеті (2009 рік) займає 1,53 млрд га, що становить 10–12 % усієї суші. Інтенсивно для проведення сільськогосподарських робіт використовують землі приміської зони крупних міст і урбанізованих територій.

Пиління при проведенні сільськогосподарських робіт впливає на стан повітря.

Основні джерела пиління:

- процес обробки ґрунту (зорювання, культивація);
- вітрова ерозія розораного ґрунту;
- пиління під час руху транспортних засобів по ріллі й ґрунтовим дорогам.

Джерелом забруднення повітряного басейну є місця утримування домашніх тварин. При цьому в повітря викидаються: завислі речовини, аміак. Завислі речовини складаються з частинок корму, посліду й епітелію тварин.

Аміак виділяється внаслідок розпаду при анаеробних умовах органічних азотистих сполук, які містяться в посліді.

23 ПОЛІГРАФІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО, ХІМІЧНА ЧИСТКА ОДЯГУ

Поліграфічне виробництво. В різних технологічних процесах поліграфічних виробництв мають місце викиди в атмосферу наступних забруднюючих речовин:

- аерозолі свинцю;
- пари бензину;
- хлористий водород;
- хлористий вініл;
- озон;
- оксиди азоту;
- полістирол;
- сажа;
- аерозолі NaOH і KOH;
- пари соляної та сірчаної кислоти.

Кількість викидів забруднюючих речовин залежить від виду використаного обладнання і технологічного процесу.

Хімічна чистка одягу. На підприємствах хімічної чистки одягу широко використовуються розчинники, підсилювачі хімчистки, пральні порошки і пасті. В процесі використання цих речовин утворюються забруднюючі речовини у вигляді органічних розчинників, поверхнево-активних речовин.

Для хімічної чистки одягу використовуються в основному хлористі жиророзчинники: перхлоретилен, тетрахлоретилен, трихлоретилен і інші.

Кількість викидів забруднюючих речовин орієнтовно можна вважати рівною кількості викидів парів розчинників (табл. 23.1).

Таблиця 23.1 – Кількість викидів забруднюючих речовин, г/ч

Сумарна потужність хімчистки, кг/зміну	Ацетон	Циклогексан	Ізопропиловий спирт	Бензин	Трихлоретилен або перхлоретилен
350	108	10	32	43	2 480
600	170	17	53	68	4 200
1 000	290	29	87	116	7 000

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Экология города / Под ред. Ф. В. Стольберга. – Київ : Либра, 2000. – 464 с.
2. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др. ; под общ. ред. А. А. Русанова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
3. Старк С. Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии / С. Б. Старк. – М. : Металлургия, 1977. – 328 с.
4. Алиев Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов : справочное издание / Г. М.-А. Алиев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.
5. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 184 с.
6. Тищенко Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. – Справ. изд. – М. : Химия, 1991. –368 с.
7. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установ. Методика визначення. – Київ, 2002. – 43 с.
8. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від автомобільного транспорту. – Київ, 2000. – 14 с.

Навчальне видання

БЕКЕТОВ Володимир Єгорович,
ЄВТУХОВА Галина Петрівна

ДЖЕРЕЛА ТА ПРОЦЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

МОДУЛЬ 1 Джерела та процеси забруднення атмосфери

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання
спеціальності 101 – Екологія)*

Відповідальний за випуск *Т. В. Дмитренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *В. Є. Бекетов*

План 2019, поз. 50 Л.

Підп. до друку 18.04.2019. Формат 60×84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 4,0

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

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

Електронна адреса : rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи :

ДК № 5328 від 11.04.2017.