

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Теплотехніка і теплові двигуни»

**ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО
УСТАТКУВАННЯ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання практичних завдань
для студентів спеціальності**

«ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»

денної та заочної форм навчання

Харків - 2012

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» 26 березня 2012 р., протокол № 5.

У методичних вказівках наведені теоретичні матеріали до тем, що розглядаються, задачі та рекомендації до їх розв'язання.

Рекомендуються для студентів спеціальності «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

доц. Н.А. Шаройко,
старш. викл. П.В. Рукавішников

Рецензент

проф. А.О. Каграманян

ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань
для студентів спеціальності
«ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»
денної та заочної форм навчання

Відповідальний за випуск Шаройко Н.А.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 26.04.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,5. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра «Теплотехніка і теплові двигуни»

**ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО
УСТАТКУВАННЯ**

Методичні вказівки до виконання практичних завдань
для студентів спеціальності
«Теплоенергетика»
денної та заочної форм навчання

Декан механічного факультету
к.т.н., доц.

О.В.Устенко

Голова методкомісії механічного факультету
к.т.н., доц.

Н.О. Аксьонова

Завідувач кафедри теплотехніки та
теплових двигунів
д.т.н., проф..

С.А. Єрощенко

Відповідальний за методичну роботу кафедри
к.т.н., доц.

Ю.А. Бабіченко

Автори:
доцент

Н.А. Шаройко

ст.. викладач

П.В. Рукавішников.

Харків 2012

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» 26 березня 2012 р., протокол № 5.

У методичних вказівках наведені теоретичні матеріали до тем, що розглядаються, задачі та рекомендації до їх розв'язання.

Рекомендуються для студентів спеціальності «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання.

Укладачі:
Доц. Н.А. Шаройко,
старш. викл. П.В. Рукавішников

Рецензент
проф. А.О. Каграманян

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Забруднення атмосфери підприємствами теплоенергетики.....	6
1.1 Визначення основних шкідливих викидів в атмосферу, що виникають при згорянні палива.....	6
1.2 Очищення повітря й продуктів згоряння від твердих частинок.....	16
1.2.1 Основи теорії золовловлювання.....	17
1.2.2 Установки очищення продуктів згоряння від твердих частинок.....	26
1.3 Нормування шкідливих викидів в атмосферу.....	44
1.4 Розсіювання продуктів згоряння в атмосфері.....	50
1.5 Розрахунок мінімальної висоти димової труби на ТЕЦ.....	70
2 Забруднення гідросфери підприємствами теплоенергетики....	76
Список літератури.....	87

ВСТУП

Метою вивчення дисципліни «Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування» є формування знань у галузі охорони навколишнього середовища й раціонального використання природних ресурсів. Дисципліна є основною в комплексі програм безперервної екологічної і природоохоронної підготовки інженерів за спеціальністю «Теплоенергетика», а також формування знань за методами комплексного підходу до вирішення питань зменшення забруднення навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування.

Завданням вивчення дисципліни є набування знань та навичок, які дозволяють:

- розраховувати масові викиди продуктів згоряння;
- визначати нормативні показники та максимальну приземну концентрацію шкідливого викиду;
- розраховувати необхідну висоту димової труби;
- визначати ефективний коефіцієнт золовловлювальні;
- розраховувати різноманітні золовловлювачі апарати;
- розраховувати необхідну витрату циркуляційної та додаткової води, граничну конденсаційну потужність ТЕС на основі питань зменшення кількості стічних вод.

Для успішного засвоювання дисципліни необхідне глибоке знання дисципліни «Паливо і теорія горіння» та відповідних розділів фізики, хімії, технічної термодинаміки, тепломасообміну.

Студенти заочної форми навчання вивчають дану дисципліну в основному самостійно і можуть одержати у викладача усні або письмові консультації. Вивчати треба систематично і частинами, які мають логічно завершений матеріал. Для закріплення матеріалу навчальним планом передбачено виконання двох контрольних робіт, які складаються з декількох задач. Вибір вихідних даних здійснюється студентом самостійно згідно з шифром.

При виконанні контрольної роботи необхідно повністю записати умови кожної задачі, навести розрахункові формули з розшифруванням умовних позначень і їх розмірності; розв'язання

задач необхідно супроводжувати стислими поясненнями; розрахунки треба надавати в міжнародній системі одиниць; за одержаними результатами розрахунків зробити стислі висновки; в кожній задачі вказати джерело інформації за вибраними величинами.

У методичних вказівках наведено необхідний теоретичний матеріал, який допоможе найкраще вивчити дисципліну та розв'язати задачі, що пропонуються. Кожна задача докладно обґрунтовується при її розв'язанні. Практичні завдання виконуються шляхом індивідуального виконання студентом відповідно сформульованих завдань, тобто засвоєння методики розрахунку та розв'язання конкретних задач, що проводяться під час проведення практичних занять.

1 ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПІДПРИЄМСТВАМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Визначення основних шкідливих викидів в атмосферу, що виникають при згорянні палива

Основними компонентами, що викидаються в атмосферу під час спалювання різних видів палива, є продукти окислення, що утворюються в процесах горіння. Під час окислення виділяється нетоксичний двооксид вуглецю CO_2 і водяна пара H_2O . Але, крім них, в атмосферу викидаються з продуктами згорання дуже шкідливі речовини, які містять значну кількість токсичних речовин. Серед них основні:

- оксиди сірки SO_x (SO_2 та SO_3);
- оксиди азоту NO_x (NO , NO_2);
- продукти неповного згорання CO ;
- тверді частинки (сажа, зола, пил);
- канцерогенні речовини (наприклад бенз(а)пірен);
- вуглеводні CH_4 , C_2H_4 та ін.;
- сполуки ртуті, свинцю, кадмію, миш'яку, фтору та ін.

Під час спалювання твердого палива в котлах ТЕС поряд з оксидами основних горючих елементів – вуглеводу та водню – в атмосферу надходять тверді частинки: сірчаного та сірчистого ангідридів, оксиди азоту, деяка кількість сполук фтору, а також газоподібні продукти неповного згорання палива.

Під твердими частинками, які викидаються через димові труби, мають на увазі не тільки золеві частинки, але й коксові частинки (неспалене паливо) та сажу. Склад твердих частинок залежить від виду палива. При спалюванні твердого палива в шарі маємо частинки всіх трьох груп, при цьому основна частка є зоїлові частинки. У випадку неповного згорання палива через незадовільну організацію процесу горіння частка коксових і сажових частинок буде зростати і може досягати 40-50 %.

При спалюванні рідкого палива утворюються нафтовий кокс і сажа, при спалюванні газоподібного палива – сажа. Слід пам'ятати, що кількість летючої золи залежить від якості палива, способу спалювання та організації процесу спалювання.

Перед усім треба знати, що сірка є горючим компонентом палива, тому треба уміти визначити приведену сірчистість палива. Сірка в паливі може бути органічною та колчеданною. Усунути сірку з твердого, рідкого чи газоподібного палива можна або перед спалюванням, або в процесі спалювання, або після спалювання з продуктів згоряння. Вартість очищення залежить від того, на якій стадії обробки палива чи продуктів згоряння відбувається очищення від сірки або сірчаних сполучень. Є методи аналітичного визначення сірчаних сполучень, за допомогою яких можна наперед сказати, скільки сірки або її сполучень буде в продуктах згоряння. Крім то, треба пом'ятати, що в основному в продуктах згоряння утворюється діоксин сірки (SO_2). Триоксид сірки (SO_3) в продуктах згоряння складає лише навколо 1% всіх сірчаних сполучень.

В залежності від першоджерела утворення в топках котлів оксиди азоту можуть бути термічними, паливними і фронтальними (швидкими). Утворення термічних оксидів азоту відбувається за фронтом полум'я в зоні високих температур за ланцюговим механізмом, а вихід їх визначається максимальною температурою горіння та концентрацією азоту і кисню в зоні реагування. Тому цю теорію названо термічною. Паливні оксиди азоту утворюються через сполучення, що вміщують азот, які присутні в рідких та твердих паливах. Треба знати вміст зв'язаного азоту в різних паливах. Фронтальні оксиди азоту наявні при спалюванні усіх видів палива. Хімічно індуційований механізм синтезу азоту близький за своїм характером до механізму паливного азоту, який відбувається з участю проміжних продуктів і радикалів у фронті полум'я. Треба розуміти ефективність, переваги та види різних методів запобігання утворенню оксидів азоту. Можна вміст оксидів азоту визначити аналітичним способом, що важливо при проектуванні.

Задача 1

Визначити кількість золи, яка викидається в атмосферу з продуктами згоряння на ТЕС. На станції спалюється донецьке вугілля та встановлено n енергоблоків потужністю $N = 500$ МВт з котлоагрегатами П-57 (топка призматична з твердим

золотилученням). Очищення продуктів згоряння здійснюється в горизонтальних електрофільтрах типу УГ. Питома витрата палива(брутто) на ТЕС b_{num} , кг умов. палив./кВт.год.

Вихідні дані наведено в таблицях 1.1, 1.2

Таблиця 1.1 – За останньою цифрою шифру

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ϵ_{num} , кг умов. палив. / кВт. год	0,29	0,3	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38

Таблиця 1.2 – За передостанньою цифрою шифру

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Марка вугілля	А	ПА	Т	К	ОС	А	ПА	Т	К	ОС

Методичні вказівки до розрахунку

По-перше, треба визначити витрату палива на ТЕС, кг/с,

$$B = \epsilon_{num} \cdot n \cdot N \frac{Q_{y.n}^p}{Q_n^p}, \quad (1.1)$$

де $Q_{y.n}^p = 29300$ кДж/кг – теплота згоряння умовного палива;

Q_n^p – теплота згоряння палива, що спалюється на ТЕС, кДж/кг (визначається з таблиці 1.3).

Потім визначається кількість золи, яка викидається з продуктами згоряння в атмосферу

$$M_z = 10 \cdot (A^p + q_4) \cdot B \cdot a_{вин} \cdot (1 - \eta_z), \quad (1.2)$$

де A^p – зольність палива на робочу масу, % (визначається з таблиці 1.3);

q_4 – витрати теплоти від механічного недопалу (визначається з таблиці 1.4);

$a_{вин}$ – доля золи, яка викидається з продуктами згоряння (визначається з таблиці 1.4);

η_s – ступінь очищення газів в золовловлювачах.

Ступінь очищення газів у горизонтальних електрофільтрах типу УГ $\eta_s = 0,98-0,986$.

Таблиця 1.3 – Характеристика палива і продуктів згоряння

Родовище вугілля	Марка вугілля	Q_n^p , кДж/кг	A^p , %	S^p , %	Об'єми повітря і продуктів згоряння, м ³ /кг				
					V^0	V_{RO_2}	$V_{N_2}^0$	$V_{H_2O}^0$	V_2^0
Донбас	А	22560	22,9	1,7	6,04	1,2	4,78	0,34	6,32
	ПА	25240	20,0	2,4	6,64	1,26	5,25	0,46	6,97
	Т	25200	23,8	2,8	6,43	1,19	5,09	0,51	6,79
	К, ОС	18000	35,5	2,5	4,77	0,87	3,78	0,51	5,16

Таблиця 1.4 – Розрахункові характеристики топок з твердим шлаковилученням

Вид палива	q_4 , %	$a_{вин}$
А, ПА	6-4	0,95
Пісне вугілля	2	0,95
Кам'яне вугілля	1-1,5	0,95

Задача 2

Визначити масовий викид оксидів сірки на пиловугільних ТЕЦ потужністю 480 МВт (4 турбіни Т-100/120-130-3). На ТЕЦ встановлено 5 котлоагрегатів типу ТП-87, для покриття пікових теплових навантажень – 3 водогрійних котли типу КВ-ТК-100, теплопродуктивність кожного з них $Q_{нкв} = 116$ МВт. Паливо для енергетичних і пікових котлів – донецьке вугілля, коефіцієнт

корисної дії енергетичних котлоагрегатів (брутто) $\eta_{ка}$, коефіцієнт корисної дії пікових котлоагрегатів (брутто) $\eta_{пкв}$.

Вихідні дані наведені в таблицях 1.5, 1.6.

Таблиця 1.5 – За останньою цифрою шифру

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\eta_{ка}$	0,885	0,89	0,895	0,9	0,905	0,91	0,915	0,92	0,925	0,93

Таблиця 1.6 – За передостанньою цифрою шифру

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\eta_{пкв}$	0,865	0,87	0,875	0,88	0,885	0,89	0,895	0,9	0,905	0,91

Паливо таке, як у задачі 1.

Методичні вказівки до розрахунку

Витрати палива, кг/с, на енергетичні котлоагрегати визначати за формулою

$$B_{ка} = \frac{Q_{ка}}{\eta_{ка} \cdot Q_H^p}, \quad (1.3)$$

де $Q_{ка}$ – теплова завантаженість котлоагрегатів, кВт;

$$Q_{ка} = D_{ка}(h_{тн} - h_{жсв}) + D_{пр}(h_{пр} - h_{жсв}), \quad (1.4)$$

де $D_{ка}$ – парова завантаженість котлоагрегатів, яка відповідає витратам пари на турбіни з урахуванням витоку (1,5%), кг/с

$$D_{ка} = 1,015 \cdot 4 \cdot D'_{ка}, \quad (1.5)$$

де $D_{пр}$ – витрати пари на продування котла, при продувці 2% - $D_{пр} = 10$ кг/с;

$h_{тн}$ – ентальпія перегрітої пари, кДж/кг;

$h_{жсв}$ – ентальпія живильної води на вході в котлоагрегат, кДж/кг;

$h_{пр}$ – ентальпія продувної води, кДж/кг.

Для котлоагрегатів ТП-87 маємо:

$$h_{nn} = 3474 \text{ кДж/кг}; \quad h_{жв} = 1015 \text{ кДж/кг};$$

$$h_{np} = 1560 \text{ кДж/кг}; \quad D'_{ка} = 133 \text{ кг/с}.$$

На чотири турбіни Т-100/120-130-3 встановлено 5 котлоагрегатів ТП-87.

Витрата палива на пікові котли, кг/с,

$$B_{пкв} = \frac{Q_{пкв}}{Q_n \eta_{пкв}}, \quad (1.6)$$

де $Q_{пкв}$ – теплова завантаженість пікових котлів, кВт

$$Q_{пкв} = 3 \cdot Q'_{пкв}. \quad (1.7)$$

Масовий викид оксидів сірки в атмосферу на ТЕЦ, г/с, складає

$$M_{SO_2} = B_{\Sigma} \frac{S^p}{100} \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} \cdot (1 - \varphi_s) = 20 B_{\Sigma} \cdot S^p (1 - \varphi_s), \quad (1.8)$$

де $B_{\Sigma} = B_{ка} + B_{пкв}$, кг/с;

S^p – вміст сірки в паливі на робочу масу, %;

φ_s – вміст сірки, яка зв'язана золюю та шлаком в процесі спалення палива. Цей коефіцієнт для більшості кам'яного вугілля з достатнім ступенем точності можна прийняти рівним 0,1.

Примітка – Треба знати, що при застосуванні сірковловлювальної установки масовий викид окислів сірки, г/с, становить

$$M_{SO_2} = 20 B_{\Sigma} \cdot S^p (1 - \varphi_s) (1 - \eta_s) \cdot B_{\Sigma}, \quad (1.9)$$

де η_s – ступінь очищення газів в сірковловлювальної установці. Для розрахунку можна прийняти $\eta_s = 0,95$.

Задача 3

Визначити масовий викид оксидів азоту в атмосферу від пиловугільної ТЕЦ-540 МВт (дві турбіни ПТ-135/165-130/15 і одна турбіна Т-175/210-130). Паливо – донецьке вугілля (варіант

із задачі 1). На ТЕЦ установлено 6 котлоагрегатів типу ТП-87 та 3 водогрійних котли типу КВ-ТК-100. Коефіцієнти корисної дії (брутто) котлів такі, як у задачі 2. Коефіцієнт надлишку повітря газів, які виходять з котла: $\alpha_{пок}^{ка} = 1,4$; $\alpha_{пок}^{нкв} = 1,3$.

Методичні вказівки до розрахунку

Теплову завантаженість енергетичних котлоагрегатів можна визначити за методикою задачі 2.

Витрату палива на енергетичні котлоагрегати ТЕЦ визначити за формулою (1.3), а розрахункову витрату палива, кг/с, за формулою

$$B_{ка}^p = B_{ка} \cdot (1 - q_4). \quad (1.10)$$

З характеристик палива треба знайти v^0 і v_2^0 та визначити об'ємну витрату газів, які виходять з котлоагрегатів та приведені до нормальних умов, Нм³/с, за формулою

$$V_2^0 = \left[v_2^0 + 1.0161 \cdot (\alpha_{пок}^{ка} - 1) \cdot v^0 \right] \cdot B_{ка}^p. \quad (1.11)$$

Для визначення масового викиду окислів азоту в атмосферу з димовими газами котлоагрегатів можна скористатися експериментальними даними, згідно з якими питомий викид оксидів азоту в атмосферу становить $g_{NO_2} = 1,4 \text{ м}^3$. Тоді маємо $M_{NO_2}^{ка}$, Г/с,

$$M_{NO_2}^{ка} = g_{NO_2} \cdot V_2^0. \quad (1.12)$$

Витрати палива на пікові водогрійні котли визначаються за формулою (1.6).

Масовий викид окисів азоту в атмосферу з димовими газами пікових котлів, г/с, можна знайти за формулою

$$M_{NO_2}^{нкв} = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot K_{NO_2} \cdot \beta \cdot B_{нкв}^p \cdot Q_u^p, \quad (1.13)$$

де $K_{NO_2}=2,2$ кг/т умов. палив. – вихід оксидів азоту (у перерахунку на NO_2) на 1 т умовного палива;

$\beta=1$ – безрозмірний поправочний коефіцієнт, який ураховує вплив на вихід оксидів азоту виду палива, конструктивних особливостей котла та спеціальних заходів зниження утворення оксидів азоту в топці.

Розрахункова витрата палива на водогрійні котли, кг/с,

$$B_{пкв}^p = B_{пкв} \cdot (1 - q_4) . \quad (1.14)$$

Загальний викид оксидів на ТЕЦ, г/с,

$$M_{NO_2} = M_{NO_2}^{ка} + M_{NO_2}^{пкв} . \quad (1.15)$$

Задача 4

ТЕЦ номінальною потужністю 300 МВт працює на вугіллі Донецького родовища. (марку вугілля визначити з таблиці 1.2).

ТЕЦ розміщується в Україні. Максимальний виробіток теплоти на ТЕЦ становить $Q_{ТЕЦ}^{макс} = 2000$ ГДж/год.

Окремі ККД ТЕЦ за виробленням електроенергії й теплоти становлять відповідно $\eta_{e.e} = 0,36$ і $\eta_{m.e.} = 0,79$. Середній коефіцієнт уловлювання електрофільтрів $\eta = 98\%$. Місцевість, де розміщується ТЕЦ, рівнинна. Визначити масу шкідливих речовин, що викидаються ТЕЦ.

Методичні вказівки до розрахунку

Насамперед за допомогою таблиці 1.2 визначити характеристики вугілля визначеної марки.

1 Маса летючої золи, що викидається з труби, визначається за формулою

$$M_z = B_{ТЭЦ}^p \cdot A^p \cdot (1 - \eta_{zy}), \quad (1.16)$$

де $B_{ТЕЦ}^p$ – витрата натурального палива на ТЕЦ.

$$B_{ТЭЦ}^p = B_{ТЭЦ}^y \cdot \frac{Q_{и}^y}{Q_{и}^p}, \quad (1.17)$$

де $B_{ТЭЦ}^y$ л – витрата умовного палива на ТЕЦ.

$$B_{ТЭЦ}^y = B_{ТЭЦ}^{e.e} + B_{ТЭЦ}^{m.e} = E_{ТЭЦ} \cdot \sigma_{ТЭЦ}^{e.e} + Q_{ТЭЦ}^{макс} \cdot \sigma_{ТЭЦ}^{m.e}, \quad (1.18)$$

де $\sigma_{ТЭЦ}^{e.e}$ – питома витрата умовного палива на 1 кВт.год електроенергії, що вироблена на ТЕЦ:

$$\sigma_{ТЭЦ}^{e.e} = \frac{0,123}{\eta_{e.e}} = \frac{0,123}{0,36} = 0,324. \quad (1.19)$$

$\sigma_{ТЭЦ}^{m.e}$ – норма витрати умовного палива на вироблення 1 ГДж теплоти:

$$\sigma_{ТЭЦ}^{m.e} = \frac{34,1}{\eta_{m.e}} = \frac{34,1}{0,79} = 43,16. \quad (1.20)$$

$E_{ТЭЦ}$ – годинний теплофікаційний виробіток електроенергії на ТЕЦ:

$$E_{ТЭЦ} = N_e. \quad (1.21)$$

2 Кількість сірки, що спалюється з вугіллям, визначається за формулою

$$M_S = B_{ТЭЦ}^p \cdot (S_k^p - S_{орг}^p). \quad (1.22)$$

Вихід оксиду сірки буде:

$$M_{SO_2} = M_S \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} . \quad (1.23)$$

Задача 5

Визначити приведену масу викиду забруднення в атмосферу з димових труб ТЕЦ за рік. Середньогодинний викид летючої золи $M_z=7,2$ т/год, а двооксиду сірки $M_{SO_2}=15$ т/год. Тривалість роботи ТЕЦ $\tau=8000$ год/рік.

Методичні вказівки до розрахунку

Приведена маса викиду в атмосферу за рік, умов.т/т визначається за формулою

$$M = \sum_{i=1}^n M_i \cdot A_i \cdot \tau , \quad (1.24)$$

де A_i – показник відносної агресивності i -го виду викиду забруднення в атмосферу з джерела, умов.т/т (визначається за довідковими даними, таблиця 1.7);

M_i – маса викиду i -го виду за рік, т/рік.

Таблиця 1.7 – Значення величини A_i для деяких речовин, що викидаються в атмосферу при спалюванні палива

Речовина	A_i , умов.т/т	Речовина	A_i , умов.т/т
Оксид вуглецю CO	1	Зола вугілля донецького родовища	70
Двооксид сірки SO ₂	16,5	Сажа без домішок	41,5
Оксид азоту NO ₂	41,1	Деревний пил	19,6
Сірководень H ₂ S	41,1	Сіркова кислота H ₂ SO ₄	49,0
Аміак NH ₃	4,64	Ацетон CH ₃ COCH ₃	2,22
Фенол C ₆ H ₅ OH	170	Хлор молекулярний	89,4

Оксиди алюмінію Al ₂ O ₃	16,9	Двооксид кремнію SiO ₂	83,2
Тверді частинки, що викидаються транспортними засобами (неетилований бензин)	300	Тверді частинки, що викидаються транспортними засобами (етилований бензин)	500
Пил вугілля	40	Зола торфу	60

1.2 Очищення повітря й продуктів згоряння від твердих частинок

1.2.1 Основи теорії золоуловлювання

Основним показником роботи установки золоуловлювання, тобто оцінка ефективності процесу очищення в конкретних випадках їх використання, є ступінь вловлювання або коефіцієнт очищення, % [5, 6].

$$\eta = \frac{G_{ул}}{G_{вх}} \cdot 100 = \frac{G_{вх} - G_{вих}}{G_{вх}} \cdot 100 = \frac{C_{вх} - C_{вих}}{C_{вх}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_{вих}}{C_{вх}}\right) \cdot 100, \quad (1.25)$$

де $G_{вх}, G_{ул}, G_{вих}$ – маса частинок, які містяться в газах до їх надходження в апарат, уловлених в апараті й тих, що містяться в газах після виходу з апарата;

$C_{вх}, C_{вих}$ – середні концентрації частинок у газах на вході в апарат і на виході з нього.

Коефіцієнт очищення залежить від умов експлуатації уловлювачів, а також від дисперсного стану уловлених частинок.

Про ступінь досконалості апарата можна судити за значеннями фракційних і парціальних коефіцієнтів очищення при техніко-економічних умовах експлуатації.

Фракційний коефіцієнт очищення показує відношення кількості твердих частинок даної фракції, уловленої в апараті, до кількості частинок тієї ж фракції, яка надходить в апарат, %.

$$\eta_{\phi} = \frac{G_{\phi_{yl}}}{G_{\phi_{ex}}} \cdot 100 = \frac{\Phi_{yl} \cdot G_{yl}}{\Phi_{ex} \cdot G_{ex}} \cdot 100 = \eta \cdot \frac{\Phi_{yl}}{\Phi_{ex}} \cdot 100. \quad (1.26)$$

Парціальний коефіцієнт одержують, коли оперують розмірами (діаметром) часток, %.

$$\eta_n = \frac{G_{N_{yl}}}{G_{N_{ex}}} \cdot 100 = \frac{N_{yl} \cdot G_{yl}}{N_{ex} \cdot G_{ex}} \cdot 100 = \eta \cdot \frac{N_{yl}}{N_{ex}} \cdot 100. \quad (1.27)$$

Звичайно фракційні або парціальні коефіцієнти очищення для різноманітних уловлювачів визначаються експериментально, шляхом проведення відповідного випробування апарата.

Повний коефіцієнт очищення може бути розрахований за фракційним або порційним станом твердих частинок, які входять в апарат, за фракційним або парціальним коефіцієнтом очищення.

$$\eta = \sum \eta_{\phi} \cdot \frac{\Phi_{ex}}{100}, \quad (1.28)$$

$$\eta = \sum \eta_n \cdot \frac{N_{ex}}{100} \cdot \Delta d_u = \int_0^{\infty} \eta_n \frac{N_{ex}}{100} d(d_u). \quad (1.29)$$

Суми Φ_{ex} та $N_{ex}d(d_u)$ повинні кожна дорівнювати 100 %.

Диференціальну криву розподілу частинок за розміром можна отримати, коли відсотковий вміст кожної фракції розділити на різниці розмірів частинок, прийнятих за граничні, й отримані значення викласти у системі координат як ординати, а як абсциси – середнє або відповідне розміру частинок.

Розподіл частинок золи більшості вугілля відповідає логарифмічно-нормальному закону, тому найбільш зручним є графічне зображення результатів дисперсних аналізів у вигляді інтегральних кривих $R(d_u)$ й $D(d_u)$, де $R(d_u)$ – залишок на ситі; $D(d_u)$ – проходження частинок крізь сито.

Кожна точка інтегральних кривих показує відносний вміст частинок з розмірами більше або менше даного розміру, а всі розподіли частинок за фракціями можна характеризувати двома

величинами: d_{50} – медіанним діаметром, який відповідає залишку на ситі $R_d=50\%$, й середнім квадратичним відхиленням σ :

$$\sigma = \frac{d_{50}}{d_{15,9}} = \frac{d_{84,1}}{d_{50}}, \quad (1.30)$$

де d_{50} , $d_{15,9}$, $d_{84,1}$ – діаметри частинок, які відповідають залишкам на ситах 50, 15,9 й 84,1 %.

Для цілого ряду розрахунків, у яких використовуються дані дисперсних аналізів, зручно користуватися аналітичним описом функцій розподілу частинок за розмірами. Розподіл частинок за первинними розмірами найчастіше є логарифмічно-нормальним і може бути записаний у вигляді залежності

$$\xi = \frac{1}{\lg \sigma_u \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-\lg\left(\frac{d_u}{d_m}\right)}{2\lg^2 \sigma_u}}, \quad (1.31)$$

де ξ – питомий вміст часток з розмірами d_u ;

$\lg\left(\frac{d_u}{d_m}\right)$ – логарифм відношення поточного розміру частинок

d_u до медіанного для даного розподілу розміру d_m ;

d_m – розмір, при якому кількість частинок, більших за d_m , дорівнює кількості частинок, менших за d_m ;

$\lg \sigma_u$ – середнє квадратичне логарифмічне відхилення у функції даного розподілу.

Коли розподіл частинок, які уловлюються, за розмірами є логарифмічно-нормальними, а залежність $\eta_n = f(d_u)$ може бути записана у вигляді інтеграла ймовірності, то значення повного коефіцієнта очищення можна визначити за формулою

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dx = \frac{1}{2} [\Phi(x) + 1], \quad (1.32)$$

$$\text{де } t = \frac{\lg\left(\frac{d_u}{d_{50}}\right)}{\lg \sigma_u}; \quad (1.33)$$

$$x = \left(\frac{\lg\left(\frac{d_m}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_u}} \right); \quad (1.34)$$

$\Phi(x)$ – нормальна функція розподілу (табличне значення) [6];

$\lg \sigma_\eta$ – стандартне квадратичне відхилення у функції розподілу парціальних коефіцієнтів очищення.

При розрахунку комбінованих уловлювачів, які складаються з двох або більше послідовно з'єднаних апаратів різного типу, потрібно визначати фракційний стан частинок, які виходять з попереднього ступеня і входять до наступного ступеня. У такому разі кожна фракція визначається за формулою

$$\Phi_{вих}^{(1)} = \Phi_{вх}^{(2)} = \Phi_{вх}^{(1)} \left(\frac{100 - \eta_\phi^{(1)}}{100 - \eta^{(1)}} \right), \quad (1.35)$$

$$N_{вих}^{(1)} = N_{вх}^{(2)} = N_{вх}^{(1)} \left(\frac{100 - \eta_n^{(1)}}{100 - \eta^{(1)}} \right), \quad (1.36)$$

де $\eta_\phi^{(1)}, \eta_n^{(1)}$ – відповідно фракційний і парціальний коефіцієнти очищення газу в першому ступені, %;

$\eta^{(1)}$ – повний коефіцієнт очищення газу в першому ступені.

Загальний коефіцієнт очищення газу в двоступінчастому уловлювачі визначається за формулою, %,

$$\eta_{заг} = \eta^{(1)} + \eta^{(2)} \left(1 - \frac{\eta^{(1)}}{100} \right). \quad (1.37)$$

У тих випадках, коли необхідно оцінювати кінцеву запиленість або порівняти відносну запиленість на виході з апаратів, доцільно користуватися коефіцієнтом проскакування ε , який визначається як, %,

$$\varepsilon = \frac{G_{вих}}{G_{вх}} \cdot 100 = \frac{C_{вих}}{C_{вх}} \cdot 100. \quad (1.38)$$

Цей параметр пов'язаний з коефіцієнтом очищення відношенням

$$\eta = 1 - \varepsilon. \quad (1.39)$$

Також для розрахунків ступеня золовловлювання зручно користуватися параметром золовловлення, який можливо розрахувати згідно з принциповою схемою золовловлювача (рисунок 1.1) [2].

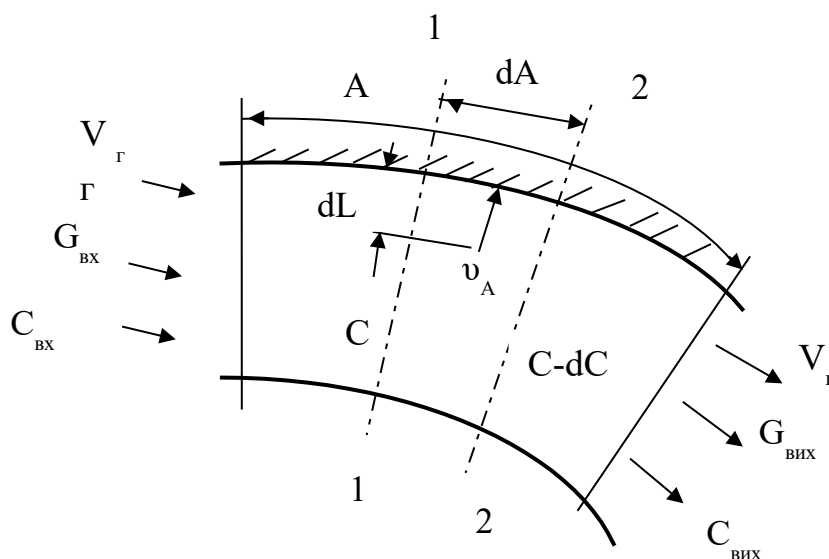


Рисунок 1.1 – Принципова схема моделі золовловлювання

Припустимо, що у каналі золовловлювача поверхнею А рухається потік газу об'ємом V_2 , м³/с, з середньою концентрацією золи на вході C_{ax} , кг/м³.

Виберемо в золовловлювачі два нескінченно близьких перерізи, які перпендикулярні руху основного потоку, між якими розташована поверхня осадження dA .

Коли через переріз 1-1 (рисунок 1.1) в одиницю часу пройшла маса частинок G_1 , кг/с, то через осадження їх маса у перерізі 2-2 зменшилася до величини G_2 , кг/с.

Якщо прийняти, що середня концентрація у перерізі 1-1 становить C , а в перерізі 2-2 – $C-dC$, то зміна маси в одиницю часу на даній ділянці становить

$$dG = G_2 - G_1 = V_2 \cdot (C - dC) - V_2 \cdot C = -V_2 \cdot dC. \quad (1.40)$$

Зміну маси часток між перетинами можна розраховувати за формулою

$$dG = v \cdot C_A \cdot dA, \quad (1.41)$$

де v – швидкість руху частинок золи під дією сил осадження до поверхні осадження (швидкість дрейфу), м/с;

C_A – концентрація частинок поблизу поверхні осадження, кг/м³, яка може суттєво відрізнятися від середньої концентрації частинок у даному перерізі.

Прирівнюємо обидва рівняння, отримуємо найбільш загальне диференціальне рівняння для золовловлювачів усіх перерахованих типів і форм:

$$\frac{dC}{C_A} = -\frac{v}{V_2} dA. \quad (1.42)$$

Праву частину рівняння зазначимо як диференціал деякої функції Π :

$$d\Pi = \frac{v}{V_2} dA. \quad (1.43)$$

Якщо швидкість дрейфу частинок незмінна уздовж усієї поверхні осадження, то вираз (1.43) легко інтегрується, а для функції Π отримуємо простіше рівняння:

$$\Pi = \frac{v \cdot A}{V_z}. \quad (1.44)$$

Функція Π називається параметром золотловлювання. Тоді загальне рівняння золотловлювання набуде вигляду

$$\frac{dC}{C_A} = -d\Pi. \quad (1.45)$$

Для інтегрування цього виразу необхідно знати співвідношення між середньою концентрацією у деякому перерізі C і концентрацією золи біля поверхні осадження C_A .

Тут необхідно розглядати два граничних випадки в русі часток у потоці.

1 Коли потік газів рухається турбулентно, частинки досить малі (менше 30 мкм) й активно беруть участь у турбулентних пульсаціях потоку, то з достатнім припущенням можна прийняти, що концентрація частинок біля поверхні мало відрізняється від середньої концентрації у перерізі золотловлювача, який розглядається, тобто $C = C_A$.

Тоді рівняння (1.45) набуває вигляду

$$\frac{dC}{C} = -d\Pi \quad (1.46)$$

і його можна проінтегрувати:

$$\int_{C_{\text{вх}}}^{C_{\text{вих}}} \frac{dC}{C} = -\int_0^{\Pi} d\Pi. \quad (1.47)$$

Остаточний вираз для коефіцієнта проскакування набуває вигляду

$$\varepsilon = \frac{C_{вих}}{C_{вх}} = \exp(-\Pi). \quad (1.48)$$

2 Другим граничним випадком є випадок, коли частинки не пульсують у потоці й кожна частинка рухається відповідними лініями течії (за відсутності осаджувальних сил). Це існує, коли потік рухається ламінарно або частинки настільки крупні, що практично не беруть участі в пульсаціях потоку, хоча останній рухається турбулентно. Ламінарний потік зустрічається в умовах ТЕС рідко. Другий існує при відносно крупних частинках золи (більше 30 мкм), які мало беруть участь у турбулентних пульсаціях потоку внаслідок більшої інерції.

Для випадку частинок, які не пульсують, можна прийняти, що концентрація частинок біля поверхні не змінюється й залишається рівною середній концентрації у вхідному перерізі золовловлювача, тобто $C_A = C_{вх}$.

При цьому диференціальне рівняння (1.45) набуде вигляду

$$\frac{dC}{C_{вх}} = -d\Pi, \quad (1.49)$$

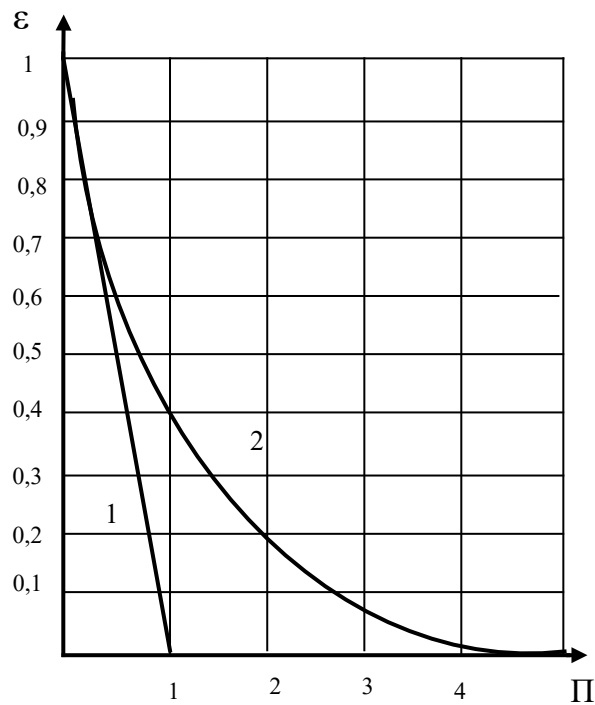
а після інтегрування

$$\varepsilon = 1 - \Pi, \eta = \Pi. \quad (1.50)$$

На рисунку 1.2 наведені криві змінення ступеня вловлювання при підвищенні параметра золовловлювання Π .

З рисунка 1.2 видно, що за відсутності пульсацій уловлювання відбувається більш інтенсивно й повністю закінчується при $\Pi=1$. У випадку турбулентних пульсацій частинок уловлювання відбувається менш інтенсивно й повне вловлювання існує при $\Pi=\infty$.

У всіх випадках ступінь золовловлювання підвищується зі збільшенням параметра золовловлювання Π . Як видно з виразу (1.44), параметр золовловлювання підвищується зі збільшенням швидкості дрейфу, поверхні осадження й зменшується з підвищенням витрати газу, який очищується.



- 1 – для частинок, які не беруть участі у пульсаціях (>30 мкм);
- 2 – для малих частинок (<10 мкм)

Рисунок 1.2 – Змінення ступеня проскакування при підвищенні параметра золотловлювання

Параметр золоуловлювання можна подати у вигляді двох безрозмірних параметрів:

$$\Pi = K \cdot \Phi, \quad (1.51)$$

де Φ – геометричний параметр (параметр форми) золотловлювача, який показує відношення поверхні осадження до поперечного перерізу для проходження газів,

$$\Phi = \frac{A}{f} = \frac{A \cdot \omega}{V_2}, \quad (1.52)$$

де ω – швидкість газу в перерізі золотловлювача, м/с;

K – кінематичний параметр, який є відношенням швидкості дрейфу частинок золи на поверхню осадження до середньої швидкості потоку газів у золотловлювачі:

$$K = \frac{v}{\omega}. \quad (1.53)$$

Ступінь уловлювання тим вищий, чим більший добуток цих параметрів. Коли параметр форми залежить тільки від форми й геометричних відношень у самому золотловлювачі, то кінематичний параметр визначається характером сил, які діють на частинки, розмірами частинок, фізичними властивостями частинок і газового потоку та аеродинамічними характеристиками потоку.

Наведені загальні відношення для ступеня уловлювання в золотловлювачах виведені за умов деяких обмежень:

- кожна частинка золи, яка досягла поверхні осадження, не може повернутися назад у потік, тобто відсутнє вторинне винесення;

- усі частинки мають однакову швидкість осадження (дрейфу);

- розподіл швидкостей газу перерізом потоку виявляється рівномірним.

Частинки, які вловлюються, мають різні розміри й частинки кожного розміру мають свою швидкість дрейфу. Отже, розрахунок ступеня вловлювання ведуть для кожної фракції окремо. Загальне проскакування золи визначається за формулою

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \frac{\Phi_i}{100}, \quad (1.54)$$

де n – кількість фракцій;

ε_i – коефіцієнт фракційного проскакування.

При послідовно встановлених ступенях золовловлювання коефіцієнт ε кожної фракції визначається як

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i1} \cdot \varepsilon_{i2} \cdot \varepsilon_{i3} \dots, \quad (1.55)$$

де $\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \varepsilon_{i3} \dots$ – проскакування деякої фракції через перший та наступні ступені золовловлювача.

1.2.2 Установки очищення продуктів згоряння від твердих часток

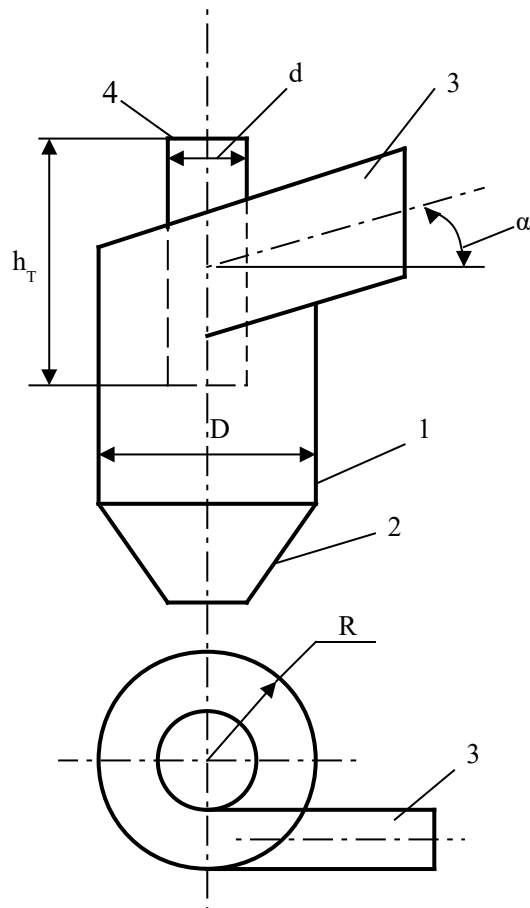
Апарати сухого очищення газів

До апаратів сухого очищення, які отримали найбільше поширення для очищення димових і технологічних газів, належать відцентрові апарати: циклони, прямотокові циклони, батарейні циклони та жалюзні золовловлювачі.

Циклонні золовловлювачі використовуються головним чином у котельних промислових підприємствах, комунально-побутових котельних і установках теплоенергетики, особливо при шаровому спалюванні палива.

Циклони складаються (рисунок 1.3) з циліндричної частини корпусу 1 діаметром D і конічної частини корпусу 2.

Для підведення газу циклон має вхідний патрубок 3, який розташований тангенціально під кутом α . Вихідний патрубок 4 діаметром d розташований аксіально відносно корпусу. Газ, який надходить у циклон, рухається тангенціально у каналі, що складається з внутрішньої циліндричної поверхні корпусу та циліндричної поверхні вихідного патрубку, де під дією відцентрових сил відбувається відділення золи.



1 – циліндрична частина корпусу; 2 – конічна частина корпусу;
 3 – вхідний патрубок; 4 – вихідний патрубок
 Рисунок 1.3 – Схема відцентрового циклона

Очищений газ видаляється через циліндр вихідного патрубка вгору, а осівши на внутрішній поверхні циліндричного корпусу, зола осипається під дією ваги в конічну частину корпусу і далі в загальний бункер.

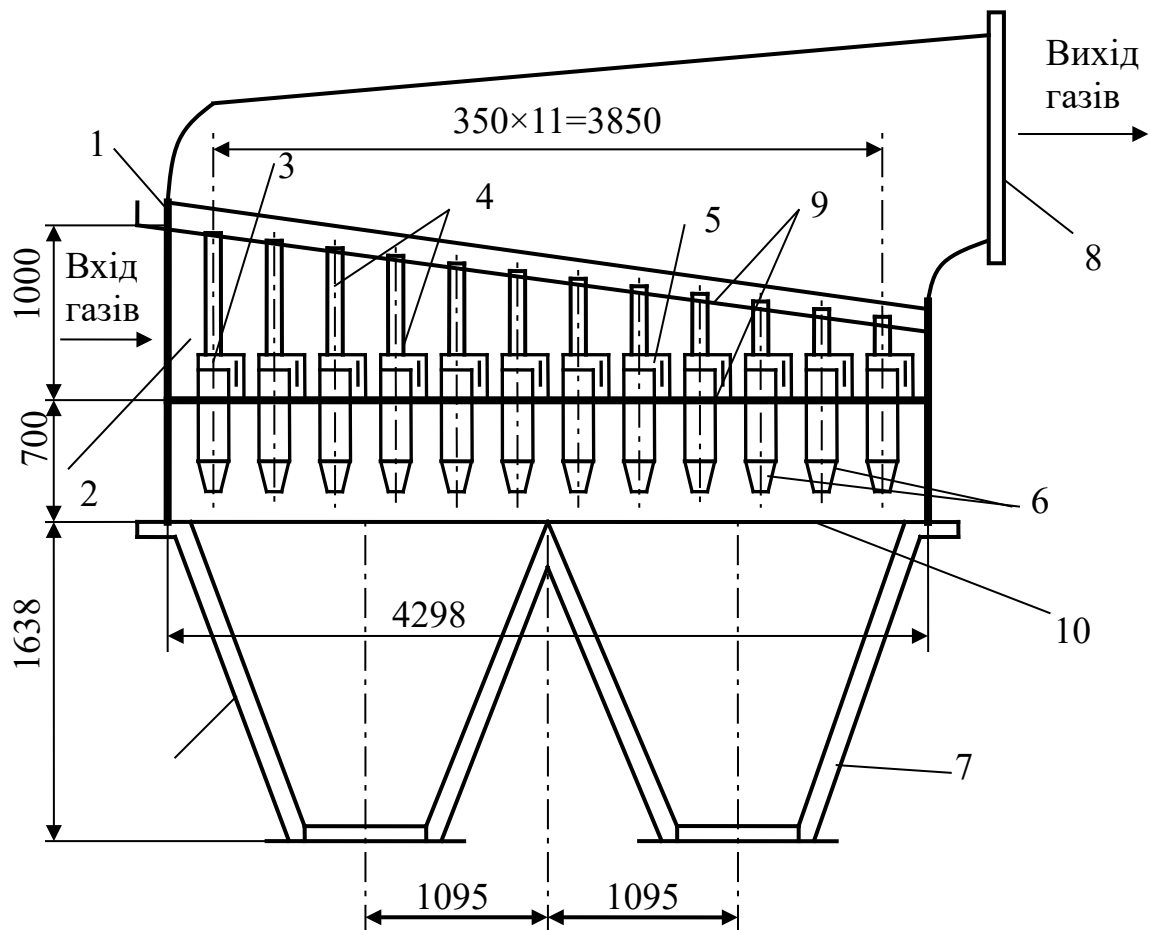
Батарейні циклони

Для підвищення ефективності використовують батарейні циклони (рисунок 1.4), які застосовують для очищення димових газів від усіх видів палива й для очищення технологічних газів установок промислової теплотехніки. Як самостійні зололовлювачі вони використовуються головним чином для котлів середньої й малої потужності.

Батарейний циклон являє собою апарат, який складається з великої кількості паралельно увімкнених циклонних елементів,

з'єднаних в одному корпусі й що мають загальне підведення та відведення газів, а також збірний бункер.

Газ, який очищається, надходить через вхідний патрубок 1 (рисунок 1.4) у розподільну камеру 2, звідки він входить у кільцеві зазори між корпусами елементів 3 й вихлопними трубами 4. У цих зазорах встановлюються напрямні апарати 5, які закручують потік газу таким чином, що відцентровий ефект, який створюється, призводить до відкидання частинок золи до стінок корпусів елементів й вона зсипається через золівідвідний отвір 6 у загальному бункері 7. Очищений газ через вихлопні труби поступає у камеру очищеного газу 8. Для кріплення корпусів елементів і вихлопних труб служать відповідно нижня й верхня 9 опорні решітки. Апарат монтується на опорному поясі 10.



1 – вхідний патрубок для запиленого газу; 2 – розподільна камера; 3 – циклонний елемент; 4 – вихлопні труби; 5 – напрямні апарати; 6 – золівідвідний отвір; 7 – загальний бункер для золи; 8 – камера очищеного газу; 9 – нижня і верхня

опорні решітки; 10 – опорний пояс

Рисунок 1.4 – Схема батарейного циклона

Доцільність застосування батарейних циклонів обумовлена тим, що за великої кількості газів, які підлягають очищенню, або при стиснутих умовах компоновання звичайних циклонів виникають труднощі.

Золовловлювачі зі змоченою поверхнею

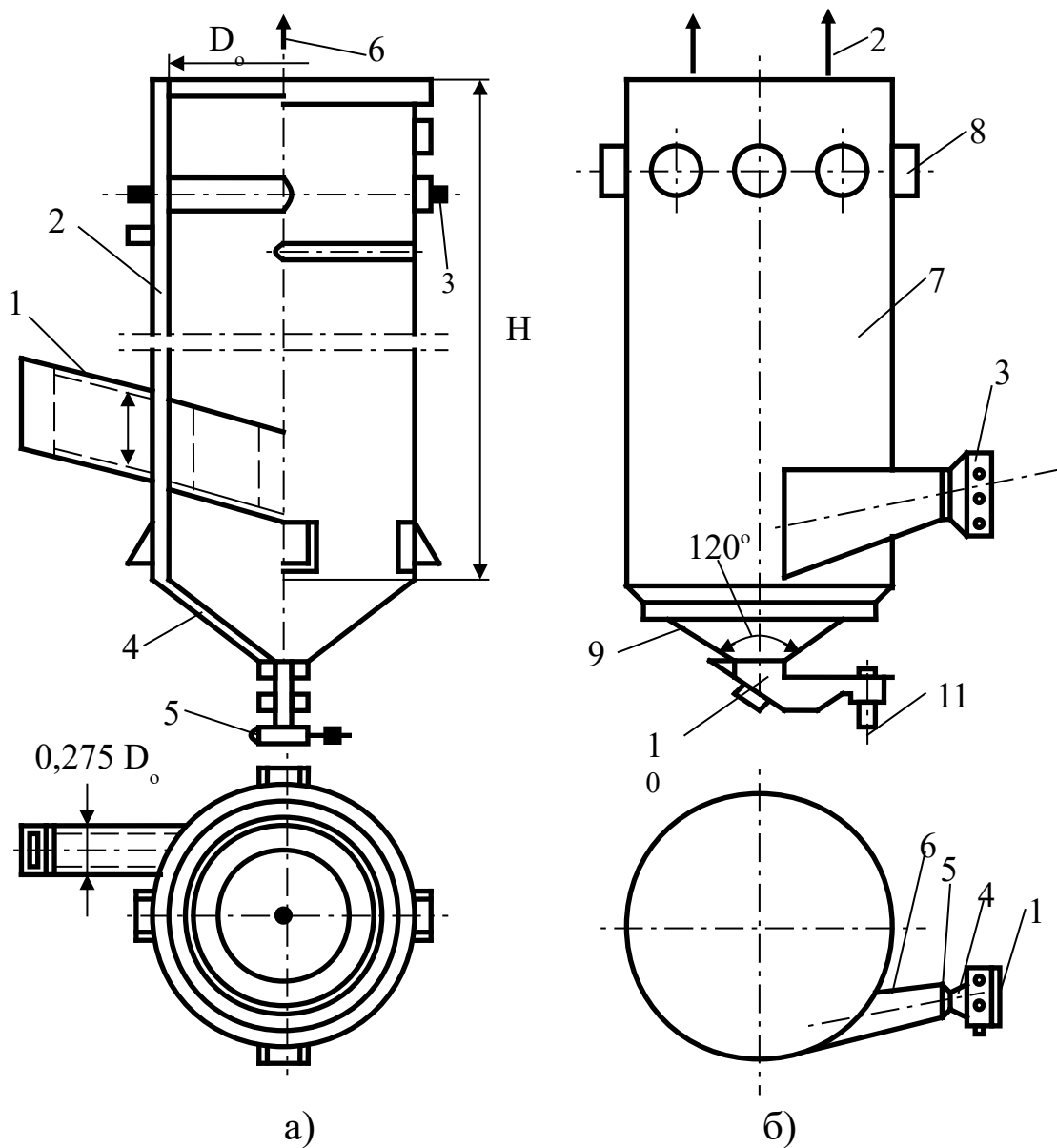
Найпростішим типом золовловлювача зі змоченою поверхнею є відцентровий скруббер. Відміна його роботи від сухого інерційного циклона полягає в тому, що за наявності на стінці плівки води, яка відсепарована, за рахунок відцентрових сил зола краще відводиться зі скруббера в бункер, при цьому зменшується вторинний захват зольних частинок зі стінок газовим потоком [2].

Скруббер ЦС-ВТІ (рисунок 1.5, а) складається зі зварного вертикального циліндра з товщиною стінок 5-6 мм з конічним днищем, вхідного патрубка, зрошувальної системи і гідравлічного затвора для видалення уловленої золи.

Вхідний патрубок приварюється тангенціально і має уклон до корпусу 10° . Внутрішні поверхні корпусу і конічного днища футеруються кислототривкою і зносостійкою плиткою з керамічного матеріалу. Внутрішня поверхня корпусу апарата неперервно зрошується із сопел, установлених по колу на відстані 500 мм один від одного. Струмені води із сопел спрямовані у бік оберту газів до внутрішньої футерованої поверхні корпусу. Діаметр апарата визначають за швидкістю димових газів у вільному перерізі скруббера (4-5 м/с). Висота зрошеної частини від сопел до осі вхідного патрубка повинна бути 3-4 діаметри скруббера.

Для котлоагрегатів продуктивністю 120-640 т/год основним типом мокрих золовловлювачів є швидкісні золовловлювачі з турбулентним коагулятором Вентурі і типу МС-ВТІ (рисунок 1.5, б). Вони найбільш ефективні з апаратів мокрого очищення газів і являють собою трубу-розпилювач, у якій забезпечується інтенсивне дроблення зрошуваної рідини газовим потоком, що рухається зі швидкістю 40-150 м/с. Як

розпилювач використовують трубу Вентурі, як краплевловлювач – циклон.



а – відцентровий скруббер: 1 – вхідний патрубок; 2 – корпус скрубера; 3 – підведення зрошувальної води; 4 – бункер; 5 – гідрозатвор; 6 – вихід очищеного газу;

б – швидкісний золовловлювач з трубою Вентурі: 1 – вхід запиленого газу; 2 – вихід очищеного газу; 3 – подача розпиленої води через форсунки; 4 – конфузور; 5 – горловина; 6 – дифузор; 7 – корпус краплевловлювача; 8 – сопла, які зрошують стінки скрубера; 9 – бункер для золи; 10 – гідрозатвор; 11 – видалення пульпи у канал золовловлювача

Рисунок 1.5 – Схеми мокрих золовловлювачів

Труба Вентурі складається з короткого конфузора з кутом розкриття 60° , горловини і довгого дифузора з кутом розкриття 12° .

У конфузори відбувається фільтрування газу, що очищається, через об'ємний дрібнозернистий фільтр із крапель води. Звідси високий ступінь очищення газу можна порівняти з очищенням через волокнисті й зернисті фільтри. Відбувається зростання швидкості газів з 20 до 50-70 м/с. За рахунок великої різниці швидкостей газів і крапельок води досягається інтенсивне змочування частинок виносу.

У горловині відбувається дроблення крапель води при взаємодії з потоком, який швидко рухається, при цьому градієнт опору падає, виникають умови для вирівнювання швидкостей газу й крапель води.

У дифузори відбувається зіштовхування частинок золи з краплями води і зниження швидкості пилогазового потоку. Більш крупні краплі води поглинають дрібні частинки золи, що забезпечує їх найкраще вловлювання у скрубери, який виконує роль краплевловлювача. Відбувається плавне тангенціальне виведення потоку в переріз, який відповідає вхідним швидкостям газу для скрубера-краплевловлювача. Стінки скрубера зрошуються водою, і коагульовані частинки легко видаляються в бункер шламу.

Гідравлічний опір золовловлювача становить 700-1150 Па, у тому числі труби Вентурі 350-550 Па. Ступінь уловлювання золи становить 92-98 %. Витрата води, яка подається у горловину труби, приймається 0,15-0,2 кг/м³ газів. Золовловлювачі МС-ВТІ не забиваються золою на відміну від МП-ВТІ.

Електричне очищення димових газів

Найбільш перспективними із золовловлювання для великих ТЕС є електрофільтри. Вони мають найбільший ступінь очищення – 0,99-0,995 при гідравлічному опорі 150 Па без зволоження димових газів. Установка складається з власного електрофільтра й агрегатів живлення. Специфічні особливості технологічних процесів у різних галузях промисловості привели до створення електрофільтрів різноманітних конструкцій [1, 2].

Власне електрофільтр складається з металевого або залізобетонного корпусу з осаджувальними та коронуючими електродами, які розташовані всередині. На вході встановлюються газорозподільні пристрої, які забезпечують рівномірний розподіл газів у активній зоні апарата.

Процес електричного очищення газів проходить у такому порядку. Газ, який підлягає очищенню, надходить в електрофільтр, де рухається у каналах, які створені осаджувальними електродами, а між ними розташовані через визначену відстань коронуючі електроди. Осаджувальні електроди приєднані до позитивного полюса випрямляча і заземлюються, а коронуючі ізолюються від землі і приєднуються до негативного полюса випрямляча. При подачі на електроди струму високої напруги в просторі між електродами виникає електричне поле, напруженість якого можливо змінювати шляхом регулювання напруги. При підвищенні напруги до визначеної величини у просторі між електродами виникає коронний розряд. У зоні корони відбувається ударна іонізація газів з утворенням великої кількості іонів. Позитивні іони швидко досягають коронуючого електрода, а негативні іони та електрони, які рухаються під дією електричного поля, знаходяться у хаотичному тепловому русі газових молекул і зіштовхуються з частинками золи, завислими у газі, адсорбуються ними, у результаті чого частинки отримують електричний заряд. Заряджені частинки під дією електричного поля рухаються до електродів і осаджуються на них, тобто виділяються, таким чином, з газового потоку (рисунок 1.6).

Найбільша частина золи заряджається негативно, рухається до осаджувальних електродів і осаджується на них. Менша частина осаджується на коронуючих електродах, тому що тільки невелика частина золи поблизу коронуючих електродів заряджається позитивно.

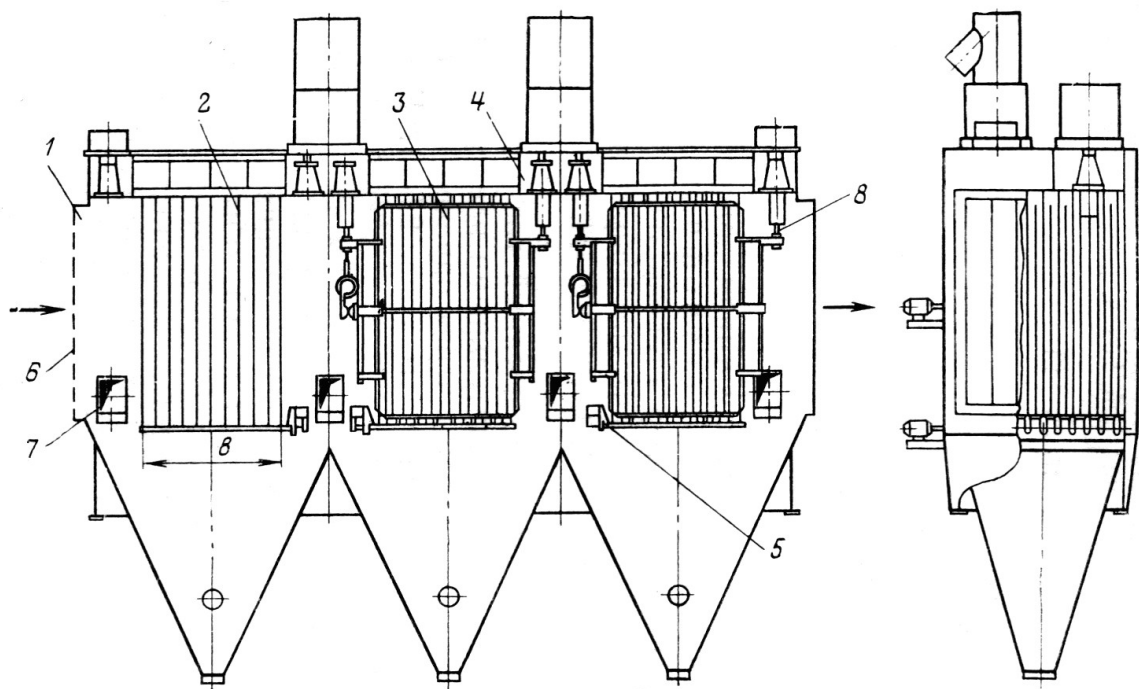
Конструктивне оформлення електрофільтрів різноманітне. У залежності від напрямку руху газів в активній зоні апарата відрізняють вертикальні і горизонтальні електрофільтри.

За конструкцією осаджувальних електродів вони можуть бути трубчастими або пластинчастими.

За способом видалення осаджених частинок розрізняють сухі або мокрі електрофільтри. У сухих – осаджені частинки видаляються за допомогою механізмів струшування. У мокрих – осаджені частинки змиваються плівкою води.

У залежності від кількості послідовно розташованих систем електродів (електричних полів) електрофільтри бувають однопільні, двопільні, трипільні і чотирьопільні.

У залежності від кількості паралельно розташованих електродів – одно-, дво- і трипільні.



1 – корпус; 2 – електрод осаджувальний; 3 – електрод коронуючий; 4, 5 – механізми струшування; 6 – газорозподільний пристрій; 7 – бункер для золи; 8 – ізолятор

Рисунок 1.6 – Схема електрофільтра типу УГ

У наш час найбільше застосовуються електрофільтри типу УГ (універсальний горизонтальний) (рисунок 1.6), з них найчастіше використовують УГ2 і УГ3:

- УГ 2 – з висотою електродів 7,5 м і активною довжиною кожного поля 2,5 м;

- УГ3 – з висотою електродів 12,2 м і активною довжиною поля 4 м. Кількість полів у кожному електрофільтрі може бути 3 або 4.

Поперечний переріз для проходження газів, м²:

- для УГ2 – 26, 37, 53, 74;
- для УГ3 – 88, 115, 177, 230, 265.

Задача 6

Розрахувати золовловлювальну установку з циклонами типу ЦН. Витрата димових газів $V_r=20 \text{ м}^3/\text{с}$; густина газів при робочій температурі $\rho_r=0,785 \text{ кг/м}^3$. Концентрація летючої золи $c_{\text{вх}}=20 \text{ мг/м}^3$; дисперсний склад золи: середній медіанний розмір частинок $d_m=15 \text{ мкм}$; ступінь полідисперсності $lg\sigma_q=0,334$ (для кам'яного вугілля). Густина золи $\rho_q=2000 \text{ кг/м}^3$; динамічна в'язкість газів при робочій температурі $\mu = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Методичні вказівки до розрахунку

З таблиці 1.8 визначаємо тип циклона і його оптимальну швидкість.

Внутрішній діаметр циклонів визначається за формулою, м,

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot \omega_{\text{опт}}}} \quad (1.56)$$

Таблиця 1.8 – Оптимальна швидкість типових циклонів

Тип циклона	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$\omega_{\text{опт}}, \text{ м/с}$	3,5	3,5	3,5	4,5	1,7	2.0

Виходячи зі стандартного ряду внутрішніх діаметрів циклонів, мм:

200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, і 3000 вибираємо діаметр циклонів і їх кількість.

Визначаємо дійсну швидкість газу в циклоні

$$\omega = \frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot n \cdot D^2} \quad (1.57)$$

де n – кількість циклонів

Виходячи з умови, що дійсна швидкість у циклоні не повинна відхилятися від оптимальної більш ніж на 15 %, маємо

$$\Delta\omega = \frac{\omega_{opt} - \omega}{\omega_{opt}} \cdot 100\% . \quad (1.58)$$

Геометричні розміри циклона визначаються за даними таблиці 1.9.

Коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона визначають у залежності від вихлопу (в атмосферу або гідравлічну мережу) за формулою

$$\xi = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \xi_{500} , \quad (1.59)$$

де κ_1 і κ_2 – поправочні коефіцієнти, які приймаються згідно з таблицями 1.10 і 1.11;

Таблиця 1.9 – Геометричні розміри циклонів

Геометричні розміри в частках	Тип циклона			
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24
Висота циліндричної частини $H_{\text{ц}}$	2,06	2,26	1,51	2,11
Висота конічної частини $H_{\text{к}}$	2,0	2,0	1,50	2,11
Висота вихлопної труби $H_{\text{т}}$	1,56	1,74	1,5	2,11
Висота зовнішньої частини вихлопної труби $H_{\text{в}}$	0,3	0,3	0,3	0,4
Внутрішній діаметр вихлопної труби $d_{\text{вихл}}$	0,59	0,59	0,59	0,59
Діаметр бункера $D_{\text{б}}$	1,5	1,5	1,5	1,5
Висота циліндричної частини бункера $H_{\text{ц.б.}}$	0,8	0,8	0,8	0,8
Кут нахилу днища бункера	60	60	60	60

Таблиця 1.10 – Значення κ_1 для різних типів циклонів

Тип циклонів	Значення κ_1 для різних діаметрів, мм
--------------	--

	200	300	400	500
ЦН-11	0,95	0,96	0,99	1
ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	0,9	0,93	1	1

Таблиця 1.11 – Значення κ_2 для різних типів циклонів

Тип циклона	Значення κ_2 при c_{ex} , г/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,9	0,87	0,5
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,9	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,9	0,87	0,86

ξ_{500} – коефіцієнт гідравлічного опору для циклона діаметром 500 мм (береться з таблиці 1.12).

Таблиця 1.12 – Значення ξ_{500} для різних типів циклонів

Тип циклона	Значення ξ_{500}	
	При вихлопі в атмосферу	При вихлопі в гідравлічну мережу
ЦН-11	250	245
ЦН-15	163	155
ЦН-15У	170	165
ЦН-24	80	75

Гідравлічний опір визначеного циклона

$$\Delta p = p_{ex} - p_{вх} = \frac{\xi \cdot \rho_v \cdot \omega^2}{2} . \quad (1.60)$$

Ефективність очищення газів (ККД циклона) визначають за коефіцієнтом золовловлення

$$\eta_{zy} = 0,5[1 + \Phi(x)] , \quad (1.61)$$

де $\Phi(x)$ – таблична функція від параметра x (таблиця 1.14)

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_m}{d_{50}^m}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\epsilon}}, \quad (1.62)$$

де d_{50}^m – середній медіанний розмір часток для типового циклона, мкм, d_{50}^m та параметр $\lg \sigma_\eta$ визначаються з таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 – Значення d_{50}^m і $\lg \sigma_\eta$ для різних циклонів

Тип циклона	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	СК-ЦН-34
$\lg \sigma_\eta$	0,352	0,352	0,283	0,308	0,308
d_{50}^m	3,65	4,5	6,0	8,5	1,95

Значення d_{50}^m визначені для умов роботи типового циклона:

$D_T=0,6$ м; $\rho_{ч.т.}=1930$ кг/м³; $\mu_m = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\omega_T=3,5$ м/с.

Для урахування впливу відхилення і умов роботи від типових на величину d_m використовується залежність

$$d_m = d_{50}^m \cdot \sqrt{\frac{D}{D_m} \cdot \frac{\rho_{ч.т.}}{\rho_m} \cdot \frac{\mu}{\mu_m} \cdot \frac{\omega_m}{\omega}} \quad (1.63)$$

Таблиця 1.14

x	-1	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
$\Phi(x)$	0,158	0,5	0,579	0,655	0,726	0,788	0,841	0,885	0,919	0,945	0,977

Коли потрібно забезпечити наперед заданий ступінь очищення, то розрахунок циклона здійснюється методом послідовних наближень з урахуванням виразу

$$\left(\frac{1-\eta_1}{1-\eta_2}\right)^2 = \frac{\xi_2 \cdot \omega_2 \cdot D_1}{\xi_1 \cdot \omega_1 \cdot D_2}. \quad (1.64)$$

Задача 7

Розрахувати установку, що вловлює золу, типу МС-ВТІ. Витрата димових газів через трубу Вентурі дорівнює $V_z=900$ м³/с.

Потрібна ефективність очистки газів $\eta=0,95$. Густина димових газів $\rho_r=0,93$ кг/м³.

Методичні вказівки до розрахунку

По-перше, визначають типорозмір краплевловлювача за необхідним перерізом краплевловлювача.

$$f = \frac{V_z}{U_k \cdot z}, \quad (1.65)$$

де U_k – швидкість газів у перерізі, приймається у середньому 5 м/с;

z – кількість циклонів.

Тип золовловлювача визначають згідно з таблицею 1.15.

Потім розраховують дійсну швидкість газів у перерізі краплевловлювача за виразом

$$U_{kd} = \frac{V_z}{\omega_d \cdot z}, \quad (1.66)$$

де ω_d – активний перетин крапле вловлювача.

Швидкість газів в горловині визначають по рівнянню

$$U_z = \frac{V_z}{\omega_z \cdot z}, \quad (1.67)$$

де ω_r – переріз горловини труби Вентурі.

Параметр золовловлювання визначають за рівнянням

$$\Pi = \sqrt{Q_{жс} \cdot U_z}, \quad (1.68)$$

де $Q_{жс}$ – питома витрата води, що орошає, на 1 м³ газу, що очищується.

$$Q_{жс} = 0,12 - 0,2 \text{ кг/м}^3.$$

Ефективність уловлювання визначають за параметром проскакування ε , тобто $\eta = 1 - \varepsilon$, а $\varepsilon = e^{-\Pi}$.

Крім того, гідравлічний тиск золовловлювача розглядається як сума тиску коагулятора Вентурі і краплевловлювача, Па,

$$\Delta p = (0,25 - 0,01Q_{ж} \cdot U_z) \cdot \rho_z \cdot \frac{U_z^2}{2} + 2,7 \rho_z \cdot \frac{U_{вх}^2}{2}, \quad (1.69)$$

де $U_{вх}$ – швидкість на вході у золовловлювач, звичайно $U_{вх} = 20$ м/с.

Таблиця 1.15 – Типи золовловлювачів МС-ВТІ

Краплевловлювач				Горловина труби Вентурі	
Діаметр, м	Висота, м	Активний переріз, м ²	Активний переріз вхідного патрубка, м ²	Розміри, м	Переріз, м ²
1	2	3	4	5	6
2,5	9,66	5,72	1,37	0,39x1,17	0,455
3,0	10,32	6,60	1,67	0,43x1,23	0,533
3,2	10,98	7,54	1,95	0,46x1,40	0,644
3,6	12,20	9,62	2,41	0,45x1,80	0,81
4,0	13,61	11,93	3,00	0,50x2,00	1,0
4,5	15,25	15,20	3,88	0,57x2,28	1,3

Задача 8

У котельній установці спалюється донецьке вугілля. Кількість газу, що очищується, дорівнює $V_z = 900$ м³/с, густина газу становить $\rho_z = 0,95$ кг/м³, густина частинок становить $\rho_c = 930$ кг/м³. Потрібна ефективність $\eta = 0,99$. Розрахувати електрофільтр.

Методичні вказівки до розрахунку

Розрахунок електрофільтра для орієнтованого визначення його розмірів ведеться у нижченаведеному порядку.

1 Активний переріз для проходження газів, м²,

$$f = \frac{V_z}{z \cdot U}, \quad (1.70)$$

де z – число паралельно увімкнених корпусів (рекомендується встановлювати 1-2 корпуси на котел, за числом димососів);

U – швидкість газів в активному перерізі, приймається для золи вугілля з несприятливими характеристиками ($\rho > 5 \cdot 10^9$ Ом·м) у межах 1,3-1,5 м/с, для решти палив ($\rho < 5 \cdot 10^9$ Ом·м) – до 1,8 м/с.

Підбирається найближчий поперечний переріз електрофільтра f_0 , вибирається висота електрода й уточнюється дійсна швидкість газів U_0 при підбраному перерізі.

2 Попередньо приймається схема газорозподілу електрофільтра й оцінюється ступінь заповнення об'єму m . За заданим ступенем виносу ε визначається ступінь виносу при рівномірному потоці ε_p за виразом

$$\varepsilon = \varepsilon_p^m, \quad \varepsilon_p = \varepsilon^{1/m}, \quad (1.71)$$

3 За ступенем виносу за допомогою формули $\varepsilon_p = e^{-\Pi}$ визначається параметр золотловлювання Π .

4 Візьмемо швидкість дрейфу у залежності від палива, яке застосовується, і знайдемо необхідну поверхню осадження:

$$f = \frac{\Pi}{v}. \quad (1.72)$$

5 Кількість полів електрофільтра при довжині поля, що задана, визначається з виразу

$$n = \frac{f \cdot U_{\delta} \cdot t}{2 \cdot l}, \quad (1.73)$$

де t – відстань між однойменними електродами (для електрофільтрів УГ $t=0,275$ м);

l – довжина поля.

6 Вибирається дійсна кількість полів електрофільтра n_{δ} . Уточнюється дійсна величина параметра золотловлювання Π_{δ} й відповідні ступені виносу ε_p^{δ} й ε^{δ} .

Задача 9

Витрата димового газу, що очищується, становить $V_z=900$ м³/с; густина газу становить $\rho_r= 0,95$ кг/м³; густина твердих часток $\rho_{\text{ч}}= 930$ кг/м³; потрібна ефективність очищення газу $\eta=0,93$.

Паливо, що спалюється, є вугілля відповідного родовища. Марка вугілля визначається згідно з таблицею 1.3.

Розрахувати батарейний циклон необхідної ефективності.

Методичні вказівки до розрахунку

Попередньо визначається необхідний переріз батарейного циклона

$$f = \frac{V_z}{U_p \cdot z}, \quad (1.74)$$

де U_p – швидкість газу, рекомендується $U_p=4,5$ м/с;

z – кількість циклонів на один котел.

З таблиці 1.16 вибираємо відповідний типорозмір батарейного циклона згідно з перерізом, що визначили, і уточнюємо дійсну швидкість U_{δ} , м/с,

$$U_{\delta} = \frac{V_z}{f \cdot z}. \quad (1.75)$$

Таблиця 1.16 – Типорозміри батарейних циклонів БЦУ-М

Типорозмір циклона	Кількість елементів у циклоні по ширині, m	Граничне значення кількості елементів, шт.	Граничне значення сумарного перерізу, м ²
1x10x m	7-15	70-150	2,93-6,28
2x10x m	7-15	140-300	5,87-12,57
4x10x m	7-15	280-600	11,73-25,14
2x12x m	7-15	168-360	7,04-15,08
4x12x m	7-15	336-720	14,08-30,17
2x14x m	7-24	196-672	8,21-28,15
4x14x m	7-24	392-1344	16,42-56,31

Параметр золовловлювання визначається для конкретної фракції за наближеною формулою

$$\Pi_i = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{U}{4,5}} \cdot \sqrt[3]{d_i^2}, \quad (1.76)$$

де d_i – середній діаметр фракції, мкм.

Для кожної фракції (таблиця 1.17) розраховується параметр золовловлення, за яким визначається ступінь проскакування також для кожної фракції

$$\varepsilon_i = e^{-\Pi_i}. \quad (1.77)$$

Потім визначають сумарну величину параметра проскакування

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot \frac{\Phi_i}{100}. \quad (1.78)$$

Таблиця 1.17 – Фракційний склад золи виносу деяких палив

Родовище	Марка вугілля	Тип млина	Фракційний склад золи Φ , %								
			Розмір частинок (середній розмір, мкм)								
			2,5	7,5	15	25	35	50	70	90	100
Донецьке	АРШ	ШБМ	8	9	14	11	11	20	17	5	5

Донецьке	Т	ШБМ	12	20	31	11	7	8	6	2	3
Кузнецьке	Т	ШБМ	12	19	31	9	6	10	5	3	5
Кемеровське	Т	ШБМ	8	13	22	17	10	14	8	3	5
Екібастузьке	СС	ШБМ	6	9	46	21	8	7	3	-	-
Екібастузьке	СС	ШБМ	10	25	20	11	7	10	10	-	-
Челябінське	Б	ШБМ	7	11	20	16	9	8	16	4	9
Подмосковне	Б	Швид- кісна	24	21	17	10	8	9	6	2	3
Подмосковне	Б	ШБМ	11	18	22	14	18	12	5	-	-
Подмосковне	Б	ММТ	7	15	23	17	10	13	5	5	5
Кансько- Ачинське	Б	ММТ	6	8	22	19	10	19	8	3	5
Фрезерний торф	-	-	12	21	11	10	19	13	9	3	2

Коефіцієнт золовловлювання визначається за ступенем проскакування

$$\eta_p = 1 - \varepsilon . \quad (1.79)$$

Співвідношення розрахованого ступеня золовловлювання з потрібним значенням проводять порівнянням η_p з η_s .

Аеродинамічний опір циклона визначають за формулою, Па,

$$\Delta p = 115 \cdot \frac{\rho_s \cdot f_d^2}{2} . \quad (1.80)$$

1.3 Нормування шкідливих викидів в атмосферу

При проектуванні ТЕС та котелень необхідно розробляти заходи із захисту атмосфери від шкідливих викидів з продуктами згоряння. У наш час намітилося два підходи до боротьби із забрудненням атмосферного повітря.

Перший, який називається *методом найліпших практично досягнутих заходів*, полягає в тому, що незалежно від ступеня забруднення атмосферного повітря в населених пунктах упроваджують найліпші практичні технологічні заходи боротьби із забрудненням, які досягнені на сучасному рівні.

Другий, який називається *методом управління якістю повітря*, припускає наявність стандартів якості, на базі яких здійснюються усі заходи з контролю й боротьби із забрудненням

атмосфери. Ці підходи прийняті зараз в усіх промислово розвинутих країнах як найбільш діючі.

Наявність стандартів якості повітря дозволяє спрямувати зусилля на оздоровлення атмосферного повітря найбільш раціонально, тобто направляти заходи в райони, у яких забруднення атмосферного повітря перевищує допустиму межу.

Сучасні уявлення про допустимі рівні забруднення атмосфери засновані на відомостях про шкідливу дію речовин на здоров'я людей і тварин, рослинність, матеріальні цінності.

Всесвітньою організацією з питань охорони здоров'я при ООН у 1963 р. рекомендовано визначення критерію чистоти атмосферного повітря за чотирма рівнями [2]:

1-й рівень – неможливо виявити прямого або непрямого впливу на людей, тварин або рослинність;

2-й рівень – можливе подразнення органів чуття, шкідлива дія на рослинність, зменшення прозорості повітря та ін.;

3-й рівень – порушення життєво важливих фізіологічних функцій і виникнення хронічних захворювань у людей і тварин;

4-й рівень – виникнення гострих захворювань і загибель людей і тварин.

У нашій країні нормативи для факторів зовнішнього середовища взагалі й атмосферного повітря особливо складають нижче захисної реакції, які пристосовані в розрахунку на вразливі групи населення.

Закон України про охорону атмосферного повітря (статті 4–6) встановлює нижченаведені нормативи [7].

1 Нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря.

2 Нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ) забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами й шкідливий вплив фізичних і біологічних факторів.

3 Нормативи гранично допустимих утворень забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря.

4 Нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах пересувних джерел (стаття 11).

До нормативів екологічної безпеки відносять:

1) гранично допустима концентрація (ГДК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі для людей і об'єктів навколишнього природного середовища;

2) гранично допустимі рівні акустичного, іонізуючого, електромагнітного й іншого фізичного й біологічного впливу на атмосферне повітря для людей і об'єктів навколишнього середовища;

3) нормативи гранично допустимих викидів (стаття 8) забруднюючих речовин стаціонарними джерелами в атмосферне повітря. Шкідливий вплив фізичного й біологічного факторів на нього встановлюється на рівні, при якому сумарні викиди забруднюючих речовин і шкідливий фізичний та біологічний вплив усіх джерел у даному районі не призведе до перевищення нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря. Тут уже йдеться про урахування фонові концентрації шкідливих речовин у повітрі або фону іншого фізичного впливу.

ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі

Для санітарної оцінки повітряного середовища використовується декілька видів гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин, у тому числі *ГДК* робочої зони, *ГДК* максимально разова, *ГДК* середньодобова, які встановлені на основі рефлекторних реакцій організму людини на присутність у повітрі токсикантів.

ГДК – це максимальна концентрація хімічних домішок в атмосфері, віднесена до певного часу осереднення, що при щоденній дії протягом усього життя людини не чинить на неї й навколишнє середовище в цілому прямого або непрямого впливу, не викликає ніяких захворювань, що виявляються на сучасному рівні, включаючи віддалені наслідки. За основний показник *ГДК* приймається масова концентрація домішки (мг/м^3). *ГДК*, які встановлені до сучасного часу, визначені виключно за умовами дії на організм людини. У нашій країні прийнято найнижчий рівень *ГДК* з чотирьох, рекомендованих Всесвітньою організацією з питань охорони здоров'я при ООН, – перший. *ГДК* затверджується на **рівні дихання людини**, тобто забруднення не має на людину прямого або непрямого впливу й не знижує її працездатність.

ГДК устанавлюються Міністерством охорони здоров'я, які при цьому розрізняють:

*ГДК*_{р.з.} – робочої зони;

$ГДК_{м.р.}$ – максимальну разову;

$ГДК_{с.д.}$ – середньодобову.

$ГДК_{р.з.}$ – концентрація, яка при щоденній роботі (крім вихідних днів) протягом 8 год або іншої тривалості, але не більше 41 год/тижд, протягом усього робочого стажу не може викликати захворювання або відхилення в стані здоров'я, що виявляється сучасними методами дослідження, в процесі роботи або в окремий термін життя сучасного й наступного поколінь.

Робоча зона – простір висотою 2 м над рівнем підлоги або майданчика, на якому розташована місце постійного або тимчасового перебування працівника.

$ГДК_{м.р.}$ – основна характеристика небезпеки шкідливої речовини. Установлена для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) при короткочасному (20-30 хв) впливі атмосферних домішок.

$ГДК_{с.д.}$ установлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного й іншого впливу речовини на організм людини.

$ГДК_{с.д.}$ – це середнє арифметичне значення разових концентрацій домішок в атмосфері, отриманих через рівні проміжки часу, у тому числі в обов'язковий термін: 1, 3, 13 і 19 год, а також за даними безперервної реєстрації протягом доби (за 24 год).

При одночасному вмісті в атмосферному повітрі й у повітрі робочої зони речовин, що мають односпрямовану дію, тобто ефект сумачії впливу, фактична концентрація кожного з них ($C_1, C_2 \dots C_n$) у повітрі до їх $ГДК$ ($ГДК_1, ГДК_2 \dots ГДК_n$) не повинна перевищувати одиниці:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1. \quad (1.81)$$

При одночасному вмісті в повітрі декількох шкідливих речовин, що не мають односпрямованої дії, $ГДК$ залишаються такими ж, як і при ізольованій дії.

Найнебезпечнішим для теплоенергетики є сполучення сірчистого ангідриду (SO_2) і двооксиду азоту (NO_2), що

обов'язково враховується в розрахунках мінімально допустимої висоти димових труб для розсіювання шкідливих викидів.

Так, за наявності у викидах сірчаного ангідриду й оксидів азоту, які мають сумарний ефект шкідливого впливу на навколишнє середовище, при одночасній наявності їх допустима концентрація визначається з умов [2]:

$$g = \frac{C_{\text{SO}_2}}{\text{ГДК}_{\text{SO}_2}} + \frac{C_{\text{NO}_2}}{\text{ГДК}_{\text{NO}_2}} \leq 1. \quad (1.82)$$

ГДК шкідливих речовин установлюють, як правило, експериментально, з використанням піддослідних тварин. Для оцінки дії токсикантів на живі організми прийняті такі величини:

- LK_{50} – летальна концентрація речовини, яка викликає при вдиханні загибель 50 % піддослідних тварин, мг/л. Значення LK_{50} виражають також у міліграм – молях на літр;

- $PK_{\text{гост}}$ – порогова концентрація гострої дії, яка встановлюється на лабораторних тваринах при однократному інгаляційному впливі, мг/л;

- $PK_{\text{хр}}$ – порогова концентрація хронічної дії, яка встановлюється на лабораторних тваринах при довготривалому інгаляційному впливі по 6 год щоденно, мг/л.

Встановлення ГДК кожної окремої речовини потребує тривалих експериментальних досліджень, тоді як нові хімічні сполуки й їх комбінації отримують значно швидше. Для усунення цього розриву використовують розрахункові методи визначення ГДК, які дозволяють прогнозувати токсичну дію хімічних сполук на основі їх фізико-хімічних характеристик.

У таблиці 1.18 наведені ГДК шкідливих речовин, які є типовими для ТЕС.

Таблиця 1.18 – ГДК найпоширеніших шкідливих речовин (мг/м³), які є типовими для теплових електростанцій і котелень [2]

Речовина	Формула	ГДКр.з.	ГДКм.р.	ГДКс.д.
Діоксид азоту	NO ₂	5	0,085	0,040

Оксид азоту	NO	-	0,60	0,060
Оксид вуглецю	CO	-	5,0	1,0
Бенз(а)пирен	C ₂₀ H ₁₂	0,00015	-	0,000001
П'ятиоксид ванадію	V ₂ O ₅	0,1	-	0,002
Нетоксичний пил	-	-	0,5	0,15
Сірководень	H ₂ S	10	0,008	0,008
Двооксид сірки	SO ₂	10	0,5	0,05
Вуглець (газова сажа)	C(сажа)	-	0,15	0,05
Двооксид вуглецю	CO ₂	20	3	1
Зола	-	-	-	0,5

Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин

Для забезпечення охорони повітряного середовища встановлена ще одна нормативна величина, яка характеризує кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу окремими джерелами забруднення, – гранично допустимі викиди (ГДВ).

Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря – це загальна кількість викиду речовини, при якій досягається гранично допустима концентрація даної речовини. Норматив ГДВ установлюють із умови, що викиди шкідливих речовин від даного джерела в сукупності з іншими джерелами не створюють приземну концентрацію, що перевищує ГДК за межами санітарно-захисної зони:

$$ГДК = C + C_{\phi}, \quad (1.83)$$

де C – концентрація речовини в приземному шарі від проєктованого або діючого джерела при збереженні нормативів ГДВ;

C_{ϕ} – фонові концентрації цієї ж речовини в розрахунковій точці, обумовлена роботою разом підприємств і транспорту.

Фонова концентрація для C_{ϕ} встановлюється місцевими органами охорони здоров'я й гідрометеорології або єдиними по місту, або диференційованими по території міста.

ГДВ розраховують за методами, які розроблені Держкомгідрометом і стандартизовані. При їх установленні для кожного підприємства береться до уваги перспектива розвитку промислового виробництва в тому районі, розташування вже діючих підприємств і будівель, географічні й кліматичні умови місцевості, розташування санітарно-захисних і рекреаційних зон.

Ураховується також **критичний рівень концентрації забруднювачів** атмосфери, як гранично допустимий рівень концентрації забруднювачів (для конкретного рівня впливу), нижче якого відповідно до сучасного рівня знань не виникають безпосередньо шкідливі наслідки для людей, рослин і усієї екосистеми в цілому.

Орієнтовно безпечний рівень впливу шкідливих речовин (ОБРВ) – гігієнічний рівень шкідливих речовин, що тимчасово встановлюється на основі розрахунку за фізико-хімічними властивостями або інтерполяцією в рядах близьких за будовою сполук.

1.4 Розсіювання продуктів згоряння в атмосфері

Ступінь небезпеки забруднення атмосферного повітря викидами шкідливих речовин характеризується найбільшим (максимальним) розрахунковим значенням концентрації шкідливих речовин C_m , мг/м³, у двометровому шарі над поверхнею Землі (рівень подиху людини ~ 1,5 м). Вона не повинна перевищувати величини максимально разової $\Gamma ДК_{м.р.}$.

Розрахунок ведеться за несприятливих метеорологічних умов, коли швидкість вітру досягає небезпечного значення та існує інтенсивний вертикальний турбулентний обмін в атмосфері. Тривалість несприятливих метеорологічних умов не перевищує 1-2 % (86-150 год) протягом року, тому фактично спостережувані концентрації будуть нижче розрахункових.

Розрізняють **гарячі** (димові труби котлів) і **холодні** (вентиляційні труби різних виробництв і АЕС) джерела викидів залежно від ΔT – різниці температур газів, що викидаються, і середньої температури T_e повітря, під якою розуміється середня температура найбільш жаркого місяця року (СНиП II-I-82 “Строительная климатология и геофизика”). Для котельень, що працюють за графіком, при розрахунках допускається приймати значення T_e рівним середнім температурам зовнішнього повітря найбільш холодного місяця, для якого характерні найбільші викиди шкідливих речовин.

У залежності від висоти H устя джерела викиду шкідливої речовини над рівнем поверхні Землі поділяються на класи: високі джерела – $H \geq 50$ м; середньої висоти – $H = 10 \dots 50$ м; низькі джерела – $H = 2 \dots 10$ м; наземні джерела – $H \leq 2$ м.

Для одиночного джерела із круглим устям розрахунок забруднень атмосфери викидами ведеться таким чином [1, 10].

Під одиночним або точковим джерелом розуміється димова труба ТЕС, котельні. Опорним значенням нормативного методу розрахунку є максимальне значення, обумовлене ТЕС або котельні приземної концентрації, яке визначається за **генеральною** розрахунковою формулою.

Для гарячих джерел ($\Delta T \gg 0$)

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_2 \cdot \Delta T}} \quad (1.84)$$

Для холодних джерел ($\Delta T \approx 0$)

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta \cdot k}{H^{\frac{4}{3}}}, \quad (1.85)$$

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

M – витрата речовин, що викидаються в атмосферу, г/с, визначається розрахунком у технологічній частині проекту котельні або за іншим джерелом.

У теплоенергетиці за M приймають сумарний викид забруднюючих речовин з урахуванням їхнього взаємного впливу відповідно до рекомендацій:

1) у випадку урахування викидів оксидів сірки й золи при спалюванні вугілля [8];

2) для оксидів сірки й азоту при спалюванні вугілля [9];

3) при спалюванні газу, як правило, ураховують тільки викиди оксидів азоту;

ΔT – різниця температур газів, що викидаються, і атмосферного повітря, °C(K), $\Delta T = T_g - T_n$;

V_g – витрата газоповітряної суміші на зрізі труби, м³/с;

A – кліматичний коефіцієнт.

Властивості атмосфери, що впливають на розсіювання, при несприятливих метеоумовах характеризуються коефіцієнтом температурної стратифікації атмосфери A , що залежить від району розташування джерела викидів з подібними умовами турбулентного обміну [1, 2, 10].

Для України: північніше 50⁰ п.ш. $A=160$; для джерел у зоні від 50⁰ до 52⁰ п.ш. $A=180$; південніше 50⁰ п.ш. $A=200$;

F – коефіцієнт, що враховує сепарацію частинок золи.

Інтенсивність сепарації частинок визначається відношенням швидкості витання (осідання) частинки v_g до турбулентності, що у свою чергу пропорційна швидкості вітру u . Чим більше відношення $\frac{v_g}{u}$, тим інтенсивніше йде сепарація й вище коефіцієнт F [10].

З аналізу цієї залежності випливає, що для газоподібних речовин і дрібнодисперсних аерозолів при $\frac{v_g}{u} \leq 0,015$ $F=1$; при $0,015 < \frac{v_g}{u} < 0,3$ приймається $F=1,5$.

У випадку, коли $\frac{v_g}{u} \geq 0,3$ при ступені очищення димових газів η не менше 90 %, приймають $F=2$; при $\eta=75-90$ % – $F=2,5$; за відсутності очищення – $F=3$.

Поза залежністю від глибини очищення $F=3$ при розрахунках концентрації пилу в атмосферному повітрі для виробництв, у яких вміст водяної пари у викидах є достатнім для того, щоб протягом усього року спостерігалася його інтенсивна концентрація відразу ж після виходу в атмосферу, а так само коагуляція вологих пилових частинок.

Ознакою інтенсивної конденсації служать спостережувані влітку клуби пари, що утворюються на відстані 1...3 м від зрізу труби (при виробництві глинозему мокрим способом, при спалюванні в котлах вологих висоководневих палив і мокрих способів очищення від золи або оксидів сірки);

m і *n* – коефіцієнти, що враховують підняття факела над трубою.

Значення цих коефіцієнтів визначаються за допоміжними величинами, які обчислюються за конструктивними параметрами джерела викидів:

$$f = \frac{1000 \cdot w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (1.87)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_g \cdot \Delta T}{H}}, \quad (1.88)$$

$$v_m' = 1,3 \cdot w_0 \cdot \frac{D}{H}, \quad (1.89)$$

$$f_e = 800 \cdot \left(v_m' \right)^3, \quad (1.90)$$

де w_0 – швидкість газу в усті труби, м/с;

D – діаметр устя труби, м;

H – висота димової труби, м;

$\Delta T = T_g - T_n, \text{ } ^\circ\text{C}(K)$;

V_2 – витрата повітряної суміші, м³/с.

Тоді коефіцієнт m визначається [10] за формулами:

$$\text{при } f < 100 \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}}; \quad (1.91)$$

$$\text{при } f > 100 \quad m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}; \quad (1.92)$$

$$\text{при } f_e < f < 100 \quad m \text{ обчислюється при } f = f_e. \quad (1.93)$$

Коефіцієнт n визначається залежно від v_m [10] за формулами:

$$\text{при } f < 100: \quad n = 1 \quad \text{при } v_m \geq 2.$$

Для ТЕС параметр v_m завжди більше 2, тому коефіцієнт n при розрахунку розсіювання викидів ТЕС приймається $n = 1$.

$$n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq v_m < 2; \quad (1.94)$$

$$n = 4,4 v_m \quad \text{при } v_m < 0,5. \quad (1.95)$$

При $f \geq 100$ й $v_m \geq 0,5$ (для холодних викидів, $\Delta T \approx 0$) розрахунок приземних концентрацій ведуть за формулою (1.85), у якій

$$k = \frac{1}{7,1 \cdot \sqrt{w_0 \cdot V_1}}. \quad (1.96)$$

Коефіцієнт n визначається за тими ж формулами, що вище, але при $v_m = v_m'$.

При гранично малих швидкостях вітру, коли $f < 100$, $v_m' < 0,5$ або $f \geq 100$, $v_m' > 0,5$, приземні концентрації розраховуються за формулою

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{\frac{7}{3}}}, \quad (1.97)$$

де

$$m' = 2,86 \text{ м} \quad \text{при } f < 100, v_m < 0,5;$$

$$m' = 0,9 \quad \text{при } f \geq 100, v_m' < 0,5.$$

Коефіцієнт урахування рельєфу місцевості η .

Безрозмірний коефіцієнт η устанавлюється на основі аналізу картографічного матеріалу, що висвітлює рельєф місцевості в радіусі до 50 висот найбільш високого з розташовуваних на промисловому майданчику джерела, але не менш ніж до 2 км [9].

У випадку рівної або слабкопересіченої місцевості з перепадом висот не більше 50 м на 1 км приймають $\eta=1$.

Відстань x_m від джерела до координати максимуму концентрації

Для гарячих джерел ця відстань при несприятливих метеоумовах визначається за формулою

$$x_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (1.98)$$

де безрозмірний коефіцієнт d при $f < 100$ визначається за формулами:

$$d = 2,48 \cdot \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}\right) \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (1.99)$$

$$d = 4,95 v_m \cdot \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}\right) \quad \text{при } 0,5 \leq v_m \leq 2; \quad (1.100)$$

$$d = 7,0 \sqrt{v_m} \cdot \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}\right) \quad \text{при } v_m > 2. \quad (1.101)$$

Для холодних джерел при $\Delta T \approx 0$ й $f > 100$ коефіцієнти d знаходять за формулами:

$$d = 5,7 \quad \text{при } v_m < 0,5; \quad (1.102)$$

$$d = 11,4 v_m' \quad \text{при } 0,5 \leq v_m' \leq 2; \quad (1.103)$$

$$d = 16 \sqrt{v_m'} \quad \text{при } v_m' > 2. \quad (1.104)$$

Небезпечна швидкість вітру u_m

Небезпечна швидкість вітру u_m – це така швидкість, за якої для заданого стану атмосфери концентрації шкідливих домішок на рівні подиху людини досягають своєї максимальної величини.

З підвищенням швидкості вітру u максимальна приземна концентрація C_m від точкового джерела, розташованого на висоті H над Землею, падає. Але, з іншого боку, зі збільшенням швидкості вітру зменшується ефективна висота джерела H внаслідок зниження гідродинамічної Δh_z й теплової Δh_m складової підняття факела, оскільки

$$H = h + \Delta h_z + \Delta h_m. \quad (1.105)$$

Звідси небезпечну швидкість вітру u_m можна визначити з виразу

$$\frac{\partial C_m}{\partial u} = 0. \quad (1.106)$$

При більших і менших швидкостях концентрації знижуються. Оскільки з висотою швидкість вітру збільшується, потрібно вимірювати її на позначці (рівні) флюгера 10 м.

За інших рівних умов приземна концентрація шкідливих речовин досягає максимуму при швидкості вітру u_m , яка називається небезпечною.

Для гарячих джерел $f < 100$ небезпечна швидкість розраховується за формулами:

$$u_m = 0,5 \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (1.107)$$

$$u_m = v_m \quad \text{при } 0,5 \leq v_m \leq 2; \quad (1.108)$$

$$u_m = v_m \cdot \left(1 + 0,12 \sqrt{f} \right) \quad \text{при } v_m > 2. \quad (1.109)$$

Для холодних джерел $\Delta T \approx 0$ і $f > 100$ небезпечна швидкість розраховується за формулами:

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m' \leq 0,5; \quad (1.110)$$

$$u_m = v_m' \text{ при } 0,5 \leq v_m' \leq 2; \quad (1.111)$$

$$u_m = 2,2 v_m' \text{ при } v_m' > 2. \quad (1.112)$$

Поправки r і P на швидкість вітру

Рівень максимальних концентрацій C_m знижується, а координата його зміщається при швидкостях вітру, відмінних від небезпечної u_m .

Тоді нове максимальне значення приземної концентрації C_{mi} , що відповідає швидкості вітру $u \neq u_m$, визначається за формулою

$$C_{mi} = r \cdot C_m, \quad (1.113)$$

$$\begin{aligned} \text{де} \quad & \text{при} \quad \bar{u} = \frac{u}{u_m} > 1 & r = \frac{3 \cdot \bar{u}}{3(\bar{u})^2 - \bar{u} + 2}; \\ & \text{при} \quad \bar{u} \leq 1 & r = 0,67 \cdot \bar{u} + 1,67 \cdot (\bar{u})^2 - 1,34(\bar{u})^3. \end{aligned}$$

Значення швидкостей вітру $u < 0,5$ м/с і $u > u^*$, де u^* – швидкість, що перевищує в середньому багаторічний режим у 5 % випадків, у розрахунку не використовуються.

Новому “безпечному” значенню швидкості вітру полярна координата нової точки максимуму відповідає значенню

$$x_{mi} = P \cdot x_m, \quad (1.114)$$

де P – безрозмірний коефіцієнт.

$$\text{При} \quad \bar{u} \leq 0,25 \quad p = 3; \quad (1.115)$$

$$\text{при} \quad 0,25 < \bar{u} < 1 \quad p = 8,43 \cdot (1 - \bar{u})^5 + 1; \quad (1.116)$$

$$\text{при} \quad \bar{u} > 1 \quad p = 0,32 \cdot \bar{u} + 0,68. \quad (1.117)$$

Коефіцієнт S_1 , що враховує зміну концентрації C уздовж факела

При небезпечній швидкості вітру u_m приземна концентрація шкідливих речовин в атмосфері по осі факела викиду на різних відстанях x від джерела викиду визначається за формулою

$$C = S_1 \cdot C_m, \quad (1.118)$$

де S_1 – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від відношення $\bar{x} = \frac{x}{x_m}$ і коефіцієнта F ,

$$\text{при } \bar{x} < 1 \quad s_1 = 3 \cdot \bar{x}^4 - 8 \cdot \bar{x}^3 + 6 \cdot \bar{x}^2, \quad (1.119)$$

$$\text{при } 1 < \bar{x} \leq 8 \quad s_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot \bar{x}^2 + 1}, \quad (1.120)$$

$$\text{при } \bar{x} > 8 \text{ й } F = 1 \quad s_1 = \frac{1}{3,18 \cdot \bar{x}^2 + 3,52 \cdot \bar{x} + 12,0}, \quad (1.121)$$

$$\text{при } \bar{x} > 8 \text{ й } F \leq 1,5 \quad s_1 = \frac{\bar{x}}{3,58 \cdot \bar{x}^2 + 35,2 \cdot \bar{x} + 120}, \quad (1.122)$$

$$\text{при } \bar{x} > 8 \text{ й } F > 1,5 \quad s_1 = \frac{1}{0,1 \cdot \bar{x}^2 + 2,47 \cdot \bar{x} - 17,8}. \quad (1.123)$$

Поправка S_2 для визначення концентрацій у точках з координатами $x, y \neq 0$, що не лежать на осі факела

Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері C_y на відстані y по перпендикуляру до осі факела викиду визначається за формулою, мг/м^3 ,

$$C_y = S_2 \cdot C, \quad (1.124)$$

де s_2 – безрозмірний коефіцієнт, обумовлений залежно від швидкості вітру u й відношення $\frac{y}{x}$ за значенням аргументу t_y :

$$\left. \begin{array}{l} t_y = \frac{u \cdot y^2}{x^2} \quad \text{при} \quad u \leq 5 \\ t_y = \frac{5y^2}{x^2} \quad \text{при} \quad u > 5 \end{array} \right\}, \quad (1.125)$$

далі за формулою

$$s_2 = \frac{1}{\left(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4\right)^2}. \quad (1.126)$$

На рисунку 1.7 наведені основні символи й визначення в їхньому ув'язуванні з координатами місцевості у приземному шарі для кращої орієнтації в результатах розрахунків концентрацій, обумовлених одиничним точковим джерелом.

Криві над віссю x показують зміни приземної концентрації шкідливих речовин при небезпечній 1 та іншій 2 швидкостях вітру, u_m і u відповідно;

- c_m і c_{mi} – максимуми кривих концентрацій при небезпечній u_m і такій u , що відрізняється від неї, швидкості вітру;

- x_m і x_{mi} – координати максимумів концентрацій при небезпечній і такій, що відрізняється від неї швидкості вітру;

- зміна концентрацій у площині приземного шару в напрямку y від осі факела подана кривими 3 і 4 для $x = x_m$, і $x = x_1$;

- c_y – концентрація на площині приземного шару з координатами x і y .

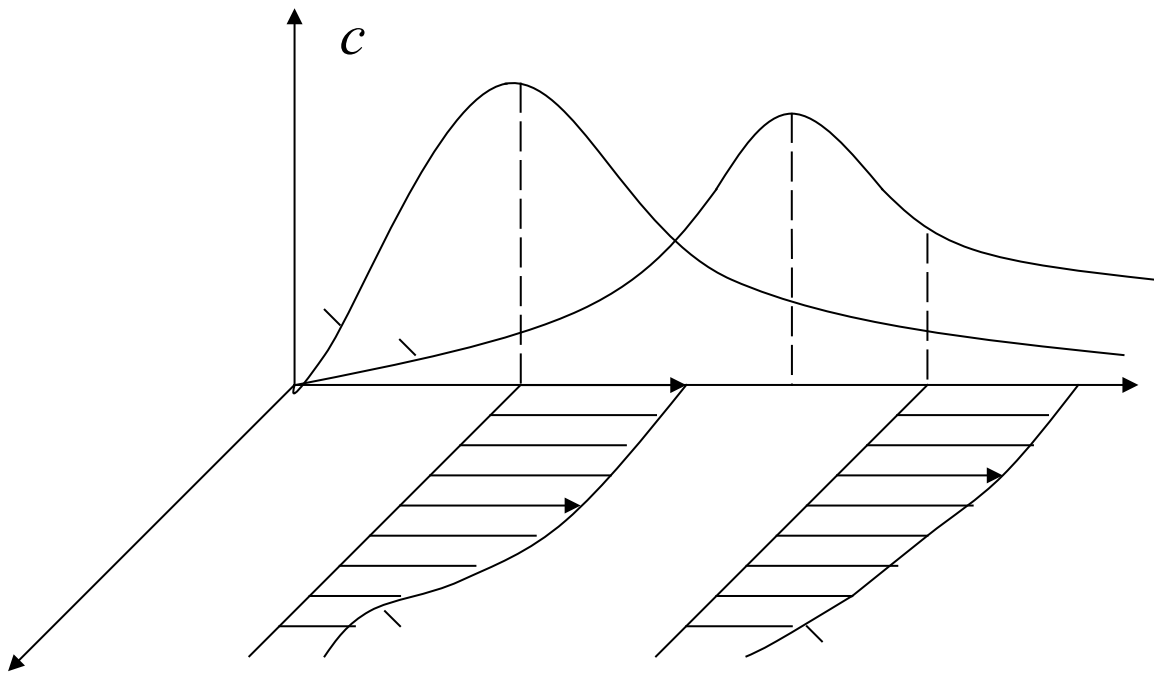


Рисунок 1.7 – Схема поля концентрацій

Задача 10

Визначити гранично допустимий викид (ГДВ) летючої золи із димової труби висотою $H=100$ м діаметром устя $D=7$ м, коли фонові концентрації нетоксичного пилу у повітрі $C_{\phi}=0,15$ мг/м³. Різниця температур між газоповітряною сумішшю та атмосферним повітрям $\Delta T=150$ К. Об'ємна витрата газоповітряної суміші, що викидається із труби $V_r=900$ м³/с. Підприємство розташоване в Харківській області.

Методичні вказівки до розрахунку

За умов неперевикнення ГДК у приземному шарі атмосфери при несприятливих метеорологічних умовах гранично допустимий викид речовини рівний масовій витраті речовини, що викидається, г/с.

З урахуванням фонові концентрації нетоксичного пилу у повітрі C_{ϕ} гранично допустимий викид визначається за формулою, г/с,

$$ГДВ = \frac{H^2 (ГДК - c_{\phi}) \sqrt[3]{V_z \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n}, \quad (1.127)$$

де $A=160 \text{ с}^{2/3} \text{ мг/К}^{1/3}$ (для Харківської області);

$F=2$ (для летючої золи);

m – безрозмірний коефіцієнт, що визначається за формулою

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (1.128)$$

де f – безрозмірний параметр, що у свою чергу визначається за рівнянням

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}; \quad (1.129)$$

де ω_0 – швидкість газу в усті труби, м/с;

$$\omega_0 = \frac{V_z \cdot 4}{\pi \cdot D^2}. \quad (1.130)$$

n – безрозмірний параметр, який залежить від параметра v_m , що визначається за формулою

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_z \cdot \Delta T}{H}}, \quad (1.131)$$

$n=1$ при $v_m \geq 2$. Для ТЕС параметр v_m завжди більше 2, тому коефіцієнт n при розрахунку розсіювання викидів ТЕС приймається $n=1$.

$$n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq v_m < 2; \quad (1.132)$$

$$n = 4,4 v_m \quad \text{при } v_m < 0,5. \quad (1.133)$$

Задача 11

Визначити гранично допустиму витрату палива (ГДП) донецького вугілля, що спалюється на електростанції. Висота

димової труби дорівнює $H=7$ м; швидкість газів на виході з труби становить $\omega_0 = 5$ м/с; середня різниця температур між димовими газами та атмосферним повітрям становить $\Delta T=130$ К. Гранично допустима концентрація летючої золи і двооксиду сірки становить $\Gamma ДК=0,5$ мг/м³. Коефіцієнт надлишку повітря у котлі – $\alpha=1,4$, ефективність золовловлювання становить $\eta_{zy} = 0,98$.

Методичні вказівки до розрахунку

Гранично допустиму витрату палива, що спалюється, можна розрахувати формулою, т/год,

$$\Gamma ДП = 3,6H^3 \sqrt{\left(\frac{\Gamma ДК}{d_1 \cdot A \cdot F \cdot m}\right)^3 \cdot d_2 \cdot \Delta T}, \quad (1.134)$$

де d_1 – кількість шкідливої речовини, що викидається, на одиницю маси палива, г/кг;

d_2 – кількість газоповітряної суміші, що виділяється на одиницю маси палива, г/кг;

для України $A=160$ (за довідковими даними);

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (1.135)$$

де

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}. \quad (1.136)$$

Виходячи з характеристик палива, насамперед визначаємо невідомі величини:

- кількість золи, яка виноситься димовими газами, на 1 кг палива, що спалюється, г/кг:

$$d_{13} = \frac{A^p}{100} \cdot (1 - \eta_{zy}) \cdot 10^3; \quad (1.137)$$

- кількість двооксиду сірки, яка виноситься димовими газами, на 1 кг палива, що спалюється, г/кг:

$$d_{1SO_2} = \frac{S^p}{100} \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} \cdot 10^3, \quad (1.138)$$

де μ_S, μ_{SO_2} – молекулярні маси сірки і двооксиду сірки;

- кількість газоповітряної суміші, що виділяється на одиницю маси палива, г/кг;

$$d_2 = \left[v_2^0 + 1,0161 \cdot v^0 (\alpha - 1) \right] \cdot \frac{T_2}{T_0}, \quad (1.139)$$

де T_0 – температура атмосферного повітря, К.

Надалі необхідно порівняти викиди золи та двооксиду сірки і визначити які викиди перевищують. Розрахунок необхідно проводити за викидом найбільшої кількості.

Задача 12

Визначити максимальну приземну концентрацію двооксиду фосфору при викиді холодної газоповітряної суміші з витяжної труби заводу з виробництва фосфорних добрив. Висота труби $H=25$ м. Устя труби має прямокутний переріз розміром 3×2 м. Кількість двооксиду фосфору, що викидається в атмосферу, $M_{\text{ф}}=5$ г/с, швидкість виходу газоповітряної суміші з труби $\omega_0 = 10$ м/с. Підприємство з виробництва добрив розташоване в Україні. Крім того, необхідно визначити небезпечну швидкість вітру u_m і відстань від джерела викиду x_m , при яких досягається максимальна приземна концентрація двооксиду фосфору.

Методичні вказівки до розрахунку

Максимальну концентрацію для холодних викидів шкідливої речовини з джерела з круглим перерізом знаходять за формулою

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n}{H^{\frac{4}{3}}} k, \quad (1.140)$$

де $k = \frac{D}{8 \cdot V_2} \cdot \quad (1.141)$

Для джерел з прямокутним устям необхідно провести перерахунок для еквівалентного діаметра:

$$D = D_{екв} = \frac{2 \cdot L \cdot B}{L + B}, \quad (1.142)$$

де $L = 3$ м – довжина устя джерела;
 $B = 2$ м – ширина устя джерела.

Об'ємна витрата газоподібної суміші з труби, м/с,

$$V_2 = V_{2_{екв}} = \frac{\pi \cdot D_{екв}^2}{4} \omega_0, \quad (1.143)$$

де n – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від параметра v_m , м/с:

$$\begin{aligned} \text{при } v_m \leq 0,3 & \quad n = 3; \\ \text{при } 0,3 \leq v_m \leq 2 & \quad n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3) \cdot (4,36 - v_m)}; \\ \text{при } v_m \geq 2 & \quad n = 1. \end{aligned}$$

Параметр v_m для холодних викидів визначається так:

$$v_m = \frac{1,3 \cdot \omega_0 \cdot D}{H}. \quad (1.144)$$

Визначивши максимальну приземну концентрацію, її порівнюють з ГДК (0,15 мг/м³) двооксиду фосфору і дають висновок.

Задача 13

Визначити приземну максимальну концентрацію летючої золи, що викидається з багатоствольної труби ТЕЦ. Кількість

стволів дорівнює 3. Висота багатоствольної труби становить $H=150$ м. Діаметр устя ствола становить $D=4$ м. Сумарний викид летючої золи з багатоствольної труби $M=8,5$ т/год. Об'єм газоповітряної суміші становить $V_2=2000$ м³/с. Різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, і температурою навколишнього атмосферного повітря становить $\Delta T=130$ К. Відстань між центрами устя стволів дорівнює $l=5$ м. Станція розташована в м. Харків: $A=160$.

Крім того, визначити відстань x_m і небезпечну швидкість вітру u_m , при яких досягається максимальна приземна концентрація шкідливих речовин.

Методичні вказівки до розрахунку

Максимальна приземна концентрація шкідливих речовин для викиду з одиночного точкового джерела круглого перерізу визначається за генеральною формулою

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_2 \cdot \Delta T}} \quad (1.145)$$

Максимальна приземна концентрація шкідливих речовин при викидах через багатоствольну трубу визначається за формулою

$$c_m = c_m'' + d_1 (c_m' - c_m''), \quad (1.146)$$

де c_m'' – приземна максимальна концентрація, мг/м³, яка розраховується за формулою (1.145), але значення параметрів викиду визначаються за деяким еквівалентним діаметром, який враховує дійсну кількість стволів.

$$D_{\text{екв}} = \left(\frac{2 + N}{3} \right) \cdot D \quad . \quad (1.147)$$

При цьому об'єм газоповітряної суміші, що викидається, буде також рівний деякому еквівалентному значенню

$$V_{z_{екв}} = \frac{\pi \cdot D_{экв}^2}{4} \omega_0, \quad (1.148)$$

где $\omega_{0л}$ – середня швидкість виходу газів з труби, м/с:

$$\omega_0 = \frac{\left(\frac{V_z}{3}\right)}{\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right)}, \quad (1.149)$$

$$f'' = 10^3 \frac{\omega_0^2 \cdot D_{екв}}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (1.150)$$

$$m'' = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f''} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f''}}; \quad (1.151)$$

$$v_m'' = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_{z_{екв}} \cdot \Delta T}{H}}, \quad (1.152)$$

$$c_m'' = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{z_{екв}} \cdot \Delta T}}. \quad (1.153)$$

c_m' – приземна максимальна концентрація, яка визначається за формулою (1. 145), але при параметрах викидів для одного ствола кількість шкідливих викидів дорівнює сумарному викиду шкідливих речовин з усіх стволів. Безрозмірний коефіцієнт d_1 розраховується за формулою

$$d_1 = \frac{l - D}{d_2 \cdot H - D}, \quad (1.154)$$

де l – середня відстань між центрами устя стволів, м;

d_2 – безрозмірний коефіцієнт, який визначається у залежності від параметра і комплексу за формулою

$$d_2 = 0,2 \left[0,3 \left(\frac{v'_m}{u'_m} \right) \cdot \sqrt[3]{f'} + 0,17 \left(\frac{v'_m}{u'_m} \right)^3 \right]. \quad (1.155)$$

Визначаємо параметри f' , v'_m , u'_m , m , n при параметрах викиду одного ствола:

$$f' = 10^3 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T},$$

$$m' = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f'} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f'}},$$

$$v'_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_2 \cdot \Delta T}{H}},$$

$$c'_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_2 \cdot \Delta T}}, \quad (1.156)$$

$$u'_m = v'_m \cdot \left(1 + 0,12 \sqrt{f'} \right). \quad (1.157)$$

Визначаємо c_m і порівнюємо це значення з ГДК ($0,5 \text{ мг/м}^3$).

Відстань, на якій спостерігається максимальна концентрація шкідливих викидів, визначається таким чином:

$$x_m = x_m'' + d_1 \cdot (x'_m - x_m''), \quad (1.158)$$

де x'_m – відстань, на якій спостерігається максимальна концентрація викидів при параметрах одного ствола;

x''_m – відстань, на якій спостерігається максимальна концентрація шкідливих викидів при параметрах:

$$D = D_{екв}, V_z = V_{z_{екв}}, x'_m = d' \cdot H, \quad (1.159)$$

де d' – безрозмірна величина, що визначається з таких умов:

$$\text{при } v'_m \leq 2 \quad d' = 4,25 \cdot v'_m \cdot \left(1 + 0,28\sqrt[3]{f'}\right);$$

$$\text{при } v'_m \geq 2 \quad d' = 7 \cdot \sqrt{v'_m} \left(1 + 0,28\sqrt[3]{f'}\right).$$

Небезпечна швидкість вітру, при якій спостерігається максимальна концентрація шкідливих викидів визначається аналогічно:

$$u_m = u''_m + d_1 \left(u'_m + u''_m\right). \quad (1.160)$$

Задача 14

Визначити зону активного забруднення (ЗАЗ) шкідливими викидами з димової труби ТЕЦ висотою $H=120$ м. Середня різниця температур між навколишнім середовищем і газоповітряною сумішшю на рівні устя труби за рік становить $\Delta T=128$ К.

Методичні вказівки до розрахунку

При висоті джерела викиду $H=10$ м ЗАЗ є коло, яке знаходиться між колами з радіусами $r_{внут} = 2 \cdot \varphi \cdot H$ і $r_{зовн} = 20 \cdot \varphi \cdot H$, де φ – безрозмірна поправка на підняття факела викиду в атмосферу

$$\varphi = 1 + \frac{\Delta T}{75}. \quad (1.161)$$

Площа ЗАЗ визначається

$$S_{\text{заз}} = \pi \left(r_{\text{зовн}}^2 - r_{\text{внут}}^2 \right). \quad (1.162)$$

Примітка – При висоті джерела викидів $H=10$ м ЗАЗ є коло з центром у точці розповсюдження джерела і радіусом $r = 50 \cdot H$.

Задача 15

Шкода, що причиняється газовими викидами забруднень в атмосферу, визначається за формулою

$$Y = 2,4 \cdot \sigma \cdot f \cdot M, \quad (1.163)$$

де σ – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від характеру забрудненої території;

f – безрозмірний коефіцієнт, що визначається у залежності від характеру розсіювання домішок в атмосфері;

M – приведена маса річного викиду забруднення в атмосфері, умов.т/рік;

2,4 – константа, грн/ умов.т.

Оскільки характер розсіювання летючої золи та оксидів сірки розрізняється, то загальна шкода повинна визначатися за формулою

$$Y = 2,4 \cdot \sigma \cdot (f_s \cdot M_s + f_{SO_2} \cdot M_{SO_2}). \quad (1.164)$$

При неоднорідній зоні активного забруднення

$$\sigma_{\text{заз}} = \frac{1}{S_{\text{заз}}} \sum S_i \cdot \sigma_i, \quad (1.165)$$

де S_i – площа i -ї частини ЗАЗ;

σ_i – табличне значення коефіцієнта для i -ї частини ЗАЗ (таблиця 1.19);

i – номер частини ЗАЗ, що відноситься до одного з видів території.

Для газоподібних домішок і дрібно дисперсних частинок зі швидкістю осідання менше 1 см/с:

$$f = \frac{100}{100 + \varphi \cdot H} \cdot \frac{4}{1 + U}, \quad (1.166)$$

де U – швидкість вітру, м/с;

H – висота труби, м.

Таблиця 1.19 – Значення коефіцієнта σ

Тип території, що забруднюється	σ
Території курортів, санаторіїв, заповідників	10
Території приміських зон відпочинку і садових кооперативів	8
Території промислових підприємств	4
Ліси (1 – 3 груп)	0,2-0,025
Ниви	0,1-0,25
Сади, виноградники	0,5
Території населених міст з щільністю населення n	0,1га/люд

Для частинок, що осідають зі швидкістю від 1 до 20 м/с,

$$f = \frac{1000}{60 + \varphi \cdot H} \cdot \frac{4}{1 + U}. \quad (1.167)$$

Приведена маса двооксиду сірки, кг,

$$M_{SO_2} = A_{SO_2} \cdot m_{SO_2}. \quad (1.168)$$

Приведена маса золи, кг,

$$M_z = A_z \cdot m_z \quad (1.169)$$

1.5 Розрахунок мінімальної висоти димової труби на ТЕЦ

Прикладом використання генеральної формули (1.84) для розв'язання зворотних задач є визначення мінімальної висоти димової труби.

Порядок її визначення подано в нормативному документі ОНД-86 [10].

Головна умова: висота труби H повинна забезпечити розсіювання шкідливих речовин до концентрації в приземному шарі атмосфери C до меншого значення або такого, що дорівнює ГДК.

Оскільки розрахунок ведеться при несприятливих метеорологічних умовах, коли швидкість вітру досягає небезпечного значення й існує інтенсивний вертикальний турбулентний обмін в атмосфері, то висота димової труби, яка розраховується, дозволить здійснювати експлуатацію ТЕС за умов, коли більшу частину року концентрація шкідливих домішок на рівні дихання людини буде нижче за гранично допустимі норми.

Висота димової труби повинна вибиратися тільки після того, як використані всі можливості, пов'язані зі зменшенням кількості шкідливих речовин, які утворюються при роботі ТЕС, в атмосфері.

Розрахунок мінімально допустимої висоти димової труби на основі генеральної формули для максимальної приземної концентрації

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_2 \cdot \Delta T}}$$

за умови, що $c_m = \text{ГДК}$, ведеться за формулою

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{\text{ГДК}} \sqrt[3]{\frac{z}{V_2 \cdot \Delta T}}}, \quad (1.170)$$

де z – число димових труб однакової висоти, які встановлені на ТЕС;

ГДК – гранично допустима концентрація речовини, яка лімітує чистоту повітряного басейну.

З 1966 р. введена вимога для шкідливих речовин односпрямованої дії, до котрих належать такі з них, які близькі за хімічним складом і характером біологічного впливу на організм людини, а з усіх сполучень найбільше значення для енергетики має сполучення сірчистого газу SO_2 й двоокису азоту NO_2 , практично завжди наявних у продуктах згоряння мінеральних палив:

$$\frac{c_{SO_2}}{ГДК_{SO_2}} + \frac{c_{NO_2}}{ГДК_{NO_2}} \leq 1. \quad (1.171)$$

У випадку урахування сумації шкідливого впливу SO_2 і NO_2 формула для визначення висоти димової труби набуває вигляду [2], м,

$$H = \sqrt[3]{A \cdot F \cdot m \cdot n \left(\frac{M_{SO_2} + \frac{ГДК_{SO_2}}{ГДК_{NO_2}} \cdot M_{NO_2}}{ГДК_{SO_2}} \right) \cdot \frac{z}{V_2 \cdot \Delta T}}, \quad (1.172)$$

де M_{SO_2} і M_{NO_2} – сумарна кількість SO_2 і NO_2 , що викидаються в атмосферу, г/с.

Формули (1.170) і (1.172) використовуються у випадку, коли фонова концентрація навколо ТЕС відсутня. Коли ТЕС будується у місцях або поблизу промислових підприємств, то при розрахунку необхідно враховувати фонову загазованість, яка є в атмосфері. У цьому випадку формула для розрахунку висоти димової труби має такий вигляд:

$$H = \sqrt[3]{A \cdot F \cdot m \cdot n \left(\frac{M_{SO_2} + \frac{ГДК_{SO_2} \cdot M_{NO_2}}{ГДК_{NO_2}}}{ГДК_{SO_2} - C_{\phi SO_2} - \frac{ГДК_{SO_2} \cdot C_{\phi NO_2}}{ГДК_{NO_2}}} \right) \cdot \frac{z}{V_2 \cdot \Delta T}}, \quad (1.173)$$

де C_{ϕ} – фонові концентрації шкідливих домішок в атмосфері.

Наявність однієї методики дозволяє упорядкувати розрахунки загазованості атмосфери викидами різних об'єктів промисловості і дати загальний підхід для порівняння різних методів її зменшення.

Задача 16

Визначити висоту димової труби діаметром $H=6$ м для ТЕЦ за умовами задачі 4 та результатами розрахунку. Крім того визначити висоту димової труби, коли фонові концентрації у приземному шарі атмосфери становить $c_{\phi}=0,15$ мг/м³. Порівняти результати розрахунків та зробити висновки. Температура газів на виході з труби дорівнює $\Delta T=150$ К, а температура навколишнього повітря становить $t_n=23$ °С. Коефіцієнт надлишку повітря при спалюванні вугілля дорівнює $\alpha=1,45$.

Методичні вказівки до розрахунку

Насамперед необхідно визначити, за яким викидом вести розрахунок, для цього необхідно порівняти вирази:

$$\frac{M_3 \cdot F_3}{ГДК_3} \quad \text{і} \quad \frac{M_{SO_2} \cdot F_{SO_2}}{ГДК_{SO_2}}. \quad (1.174)$$

За найбільшим значенням викиду надалі ведеться розрахунок.

Розрахунок висоти димової труби без фонові концентрації проводимо за формулою

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{ГДК}} \sqrt[3]{\frac{1}{V_2 \cdot \Delta T}} \quad (1.175)$$

Коефіцієнт $A = 160$.

M – маса шкідливих речовин, що викидаються з труби, яка визначена з умови (1.174) та результатів розрахунку задачі 4.

Повний об'єм продуктів згоряння визначається за формулою, m^3/c ,

$$V_2 = B \left[v_2^0 + 1,0161 v^0 (\alpha_n - 1) \right] \frac{T_2}{T_n} . \quad (1.176)$$

Швидкість газів на виході з труби визначаємо за формулою, m/c ,

$$\omega = \frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot D^2} . \quad (1.177)$$

Середня різниця температур між атмосферним повітрям та димовими газами, K ,

$$\Delta T = T_2 - T_n . \quad (1.178)$$

Оскільки коефіцієнти m і n залежать від висоти труби, то задачу можна розв'язати двома методами:

- послідовних наближень;
- графоаналітичним.

Метод послідовних наближень

По-перше, визначаємо висоту димової труби без урахування коефіцієнтів m і n за формулою, m ,

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{ГДК}} \sqrt[3]{\frac{1}{V_2 \cdot \Delta T}} . \quad (1.179)$$

Потім визначаємо ці коефіцієнти по висоті, що визначена попередньо за формулою (1.179).

При отриманих коефіцієнтах m і n проводиться перше уточнення висоти H_1 .

Друге уточнення проводиться за формулою

$$H_2 = H_1 \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} . \quad (1.180)$$

Проводимо перевірку правильності розв'язання за формулою (1.84) і порівнюємо з ГДК. Тобто отримане значення c_m не може перевищувати ГДК.

Графоаналітичний метод

Візьмемо три висоти H_1, H_2, H_3 і визначимо для кожної з них коефіцієнти f , а потім m .

Для визначення коефіцієнтів n попередньо розраховуємо параметр v_m для кожної взятої висоти.

Після отримання відповідних коефіцієнтів визначаємо висоти H'_1, H'_2, H'_3 .

Значення висот, що отримали, відкладаємо на графіку $H' = f(H)$ з однаковим масштабом за координатами. Точки з'єднуємо плавною кривою, а потім проводимо бісектрису координатного кута. Точка перетину бісектриси і кривої дає мінімальну висоту димової труби, яка відповідає заданим параметрам.

Проводимо перевірку правильності розв'язання за формулою (1.84) і порівнюємо з ГДК. Тобто отримане значення c_m не може перевищувати ГДК.

2 ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ ПІДПРИЄМСТВАМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

На сучасному рівні знань найбільш припустимою методологічною основою підходу до розглядання проблеми впливу теплоенергетичних установок на водні об'єкти є системно-структурний аналіз, що дозволяє виявляти всі різноманітні зв'язки й процеси, які їх визначають, у складних системах. Це насамперед вимагає об'єктивних відомостей про самі водні об'єкти, закономірності змін їх стану, властивостей, а також установлення нових відношень з об'єктами енергетичного виробництва на основі нормативів якості води й водоспоживання.

Спостереження за станом водного об'єкта здійснюється відповідно до загального переліку параметрів, до якого входять показники, що характеризують кількість водних ресурсів та їх зміни, якість води і нормативи екологічної безпеки водокористування, екологічний норматив та категорія якості водних об'єктів тощо, що розробляються і затверджуються в установленому порядку.

«Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» [11] дозволяють оцінити якість води, яка використовується для різних цілей.

Згідно з цими нормами водні об'єкти поділяються на 2 види:

1) водойми господарсько-питного й культурно-побутового призначення;

2) рибогосподарські водойми.

Водойми першого виду поділяються у свою чергу на дві категорії:

1) водойми, які використовують для централізованого або нецентралізованого господарсько-питного водопостачання й водопостачання харчових підприємств;

2) водойми, які використовують для купання, спорту й відпочинку населення, а також водойми в межах населених місць.

Рибогосподарські водойми теж поділяються на дві категорії:

1) водойми, які використовують для збереження й відтворення цінних видів риби, що мають високу чутливість до кисню; вміст кисню в них не повинен бути менш ніж 6 мг/кг;

2) водойми, які використовують для всіх інших рибогосподарських цілей; вміст кисню в них повинен бути не менше 4 мг/кг.

Теплові та атомні електростанції і котельні установки є постачальниками як шкідливих речовин у водойми та водотоки, так і тепловим забрудненням, що глобально змінює клімат. Тому треба знати характеристики шкідливих забруднювачів виробничих стічних вод та умови, при яких можна випускати стічні води в міську каналізацію і водойми.

Визначення стічної води має подвійний смисл. З одного боку, це вода, яка не має великої цінності для промислового підприємства, з другого – це вода, яка вносить шкідливі речовини у водойми при її скиданні.

Узагальнюючи всі можливі впливи енергетичних підприємств на водні об'єкти, виділяють декілька груп найважливіших взаємодій, серед яких:

- водоспоживання і водокористування, що зумовлює зміни в природному матеріальному балансі водного середовища;

- осідання на поверхні води твердих викидів з атмосфери, викликаних продуктами згоряння органічного палива, що змінює властивості води та ін.;

- випадання на поверхню води продуктів викидів в атмосферу, зокрема кислих і кислотних залишків, металів і їх сполук, канцерогенних речовин у вигляді твердих частинок і рідких розчинів;

- викидання безпосередньо на поверхню води продуктів спалювання твердого палива, а також продуктів продування, очищення поверхонь нагрівання;

- викидання на поверхню води рідкого і твердого палива при його транспортуванні, переробці, перевантаженні;

- викидання твердих і рідких радіоактивних відходів, що характеризуються умовами їх розповсюдження у водних

об'єктах;

- викидання теплоти, наслідком чого можуть бути постійне локальне підвищення температури у водоймищі, тимчасове підвищення температури, зміни умов льодоставу, зимового гідрологічного режиму, паводків, розподілу опадів, випаровувань, туманів;

- створення сховищ у долинах річок або з використанням природного рельєфу, а також створення штучних ставків-охолоджувачів, що спричиняє зміну якісного і кількісного складу річкових стоків, зміну гідрології водного басейну, збільшення тиску на дно, проникнення вологи в розломи кори та зміну сейсмічності, зміну умов мікроклімату, відпочинку, та інших чинників водного середовища;

- вплив викидів, виносів і зміненого характеру водних басейнів на структуру і властивості континентальних шельфів.

Усі названі взаємодії пов'язані між собою, і кожна з них не може розглядатися ізольовано. Крім того, механізм взаємодії в будь-якій з груп заснований на різних фізичних і фізико-хімічних процесах і явищах.

Різноманітність таких чинників, їхній взаємозв'язок як з повітряним середовищем, так і з поверхнею планети зумовлює потребу в багатобічному аналізі впливу енергетики на гідросферу, заснованому на узагальненому системному підході до усіх складових цього процесу.

Сучасні ТЕС виявляються найбільшими промисловими водоспоживачами. Кількість і ступінь забруднення стічних вод електростанцій залежать від потужності, виду палива, технічного рівня обладнання очисних споруд.

Теплові електростанції є джерелами таких видів стічних вод [2]:

- 1) охолодні води, що викликають в основному теплове забруднення водойм;

- 2) стічні води водопідготовчих установок і конденсатоочисток;

- 3) води, які забруднені нафтопродуктами;

- 4) води від обмивання зовнішніх поверхонь парових і пікових водогрійних котлів, що працюють на мазуті;

- 5) відпрацьовані розчини після хімічного очищення теплосилового устаткування і його консервації;
 - 6) води систем гідрозоловидалення на ТЕС, що працює на твердому паливі;
 - 7) комунально-побутові й господарські води;
 - 8) води від гідравлічного прибирання приміщень тракту паливоподачі;
 - 9) дощові (зливові) води з території ТЕС.
- Найбільшого збитку водоймам завдають скидання стічних вод перших шести видів.

Задача 17

Визначити погодинну витрату циркуляційної води і зробити вибір насосів для її подачі в конденсатори парових турбін електростанції конденсаційною потужністю N_e (таблиця 2.1). Кратність охолодження конденсаторів m . Насоси розташовуються на береговій насосній станції, яка віддалена від ТЕС на L , м. Геодезична височина осі конденсаторів турбін над рівнем води у водоприймачі H_r . Втрата тиску на переборення гідравлічного опору конденсатора Δh_k . Абсолютна еквівалентна шорсткість трубопроводу k_e (таблиця 2.2). Частина місцевих втрат на гідравлічний опір α . Температура води, яка охолоджує, t_e . Початкові параметри пари: $p_0 = 17$ МПа, $t = 560^\circ$ С. Тиск в конденсаторі $p_k = 4$ кПа, ККД турбіни $\eta_{oi} = 0,85$; $\eta_{em} = 0,97$.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані (за останньою цифрою шифру)

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_e , МВт	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
m	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
L , м	100	200	300	900	800	700	600	500	400	100
H_r , м	20	21	22	23	30	29	28	27	26	25

Таблиця 2.2 – Вихідні дані (за передостанньою цифрою шифру)

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Δh_{κ} , кПа	10	11	12	13	14	15	14	13	12	10
k_e , мм	0,3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,5
α	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25	0,2	0,15	0,1	0,2	0,25
$t_{\text{в}}$, °С	15	20	25	16	21	24	23	22	19	18

Методичні вказівки до розрахунку

По-перше, за вихідними даними за допомогою h-S діаграми водяної пари необхідно визначити параметри пари: h_0 , h_{κ} , а потім теоретичний теплоперепад на турбіні:

$$H_0 = h_0 - h_{\kappa}. \quad (2.1)$$

Визначаємо витрату пари в конденсаторі, т/с, за формулою

$$D_{\kappa} = \frac{N_e}{H_0 \eta_{0i} \eta_{em}}. \quad (2.2)$$

Витрата циркуляційної води, яка охолоджує, т/с, визначається за формулою

$$W_{oe} = m \cdot D_{\kappa}. \quad (2.3)$$

За отриманою витратою циркуляційної води визначаємо необхідний діаметр напірного водоводу, м:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot W_{oe}}{\pi \cdot w_e}}. \quad (2.4)$$

Приймаємо швидкість води $w_e = 3$ м/с.

За сортаментом труб, що наведений в таблиці 2.3, вибираємо труби найближчого внутрішнього діаметра та їх кількість.

Тоді витрата води в кожній трубі буде визначена: $G = \frac{W_{oe}}{4}$, а фактична швидкість води, м/с:

$$w_e = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}. \quad (2.5)$$

Таблиця 2.3 – Сортамент труб низького тиску (<40 атм)

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки труби, мм
720	10
820	11
920	12
1020	14
1220	14
1420	14

Лінійна питома втрата тиску води в напірному водоводі, Па/
м

$$R_d = 0,0894 \frac{k_\epsilon^{0,25} \cdot G^2}{\rho \cdot d_{\text{вн}}^{5,25}} \cdot \quad (2.6)$$

Повна втрата тиску у водоводі, Па,

$$\Delta p_{mp} = L(1 + \alpha) \cdot R_d \cdot \quad (2.7)$$

Потрібний напір насоса, м,

$$H = \frac{\Delta p_{mp}}{\rho_\epsilon \cdot g} + \Delta h_k + H_\epsilon + \frac{w_\epsilon^2}{2g} \cdot \quad (2.8)$$

Вибираємо за довідковими даними [12] відцентрові насоси типу В (вертикальний) з подачею та напором, що відповідають отриманим параметрам (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики відцентрових насосів типу В

Типорозмір насоса	Подача, м ³ /с(м ³ /Год)	Напір, м	Частота оберту, 1/хв	Потужність кВт
600В-1,6/100(28В-12)	1,52(5500)	90	750	1620
800В-2,5/100(32В-12)	2,39(8600)	90	600	2540
800В-25/40(36В-22)	2,62(9400)	40	600	1300
1000В-4/63(40В-16)	3,41(12300)	60	500	3600
1000В-4/(44В-22)	3,76(13500)	40	500	1810
1200В-6,3/100(52В-11)	6,09(21900)	88	375	7440
1200В-6,3/63(52В-17)	5,90(21200)	59	375	4180
1200В-6,3/40(58В-22)	5,34(19200)	25,6	300	1690
1600В-10/40(72В-22)	8,72(31300)	27,8	250	3000
2000В-16/35(В17-16/55)	15(54000)	55	250	9500

Примітка – Умовне позначення насоса:

- цифра перед буквою – діаметр напірного патрубку, мм;
- буква В – вертикальний;
- цифри у чисельнику – подача, м²/с:
- цифра у знаменнику – напір, м;
- в дужках приведені позначення насосів, які застосовувалися раніше.

Задача 18

Визначити граничну конденсаційну потужність ТЕС із прямоточним водопостачанням конденсаторів турбін. Початкові параметри пари на ТЕС: $p_0=17$ МПа, $t=560^{\circ}\text{C}$. Тиск у конденсаторі p_k . Внутрішній відносний ККД турбіни η_{0i} (таблиця 2.5), $\eta_{\text{ем}}=0,96$. Температура води в річці $t_{\text{ісх}}$ і на виході з конденсатора $t_{\text{вих}}$.

Витрата води в річці Q_p . Джерело водопостачання є об'єктом культурно-побутового призначення.

Вихідні дані наведені у таблицях 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані (за останньою цифрою шифру)

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_k , кПа	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
η_{oi}	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,85	0,84	0,83

Таблиця 2.6 – Вихідні дані (за передостанньою цифрою шифру)

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_{icx} , °C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{вих}$, °C	24	25	26	27	28	24	25	26	27	28
Q_p , м ³ /с	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75

Методичні вказівки до розрахунку

За правилами охорони водних об'єктів скидання нагрітої води в джерело культурно-побутового використання обмежується границями, при яких збільшення температури води у водному об'єкті не повинно перевищувати 3⁰C.

З теплового балансу водного джерела маємо витрату води, яка охолоджує конденсатори турбін, м³/с,

$$W_{os} = \frac{3 \cdot Q_p}{t_{вих} - t_{icx}} \quad (2.9)$$

Теоретичний теплоперепад у турбіні, кДж/кг,

$$H_0 = h_0 - h_{km} \quad (2.10)$$

Ентальпія пари в конденсаторі, кДж/кг

$$h_k = h_0 - H_0 \cdot \eta_{oi} \quad (2.11)$$

Кратність охолодження конденсатора визначаємо за формулою

$$m = \frac{h_k - h'_k}{\Delta t_g \cdot c_p} \quad (2.12)$$

Визначаємо витрату пари в конденсаторі, кг/с,

$$D_k = \frac{W_{oe}}{t}. \quad (2.13)$$

Конденсаційна потужність електростанції, МВт

$$N_e = D_k \cdot H_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{em}. \quad (2.14)$$

Задача 19

Визначити одноразову дозу хлору, який вноситься в циркуляційну воду, і його погодинну витрату для боротьби з мікроорганізмами у весняно-літній період. Хлоропоглинаюча здатність додаткової води $\Pi=1,4$ мг/дм³, якщо встановлена потужність ТЕЦ дорівнює N_e .

Початкові параметри пари на ТЕЦ: $p_0=13$ МПа; $t_0=560$ °С; тиск у конденсаторі p_k (таблиця 2.8). Тиск в відборах турбін p_t . Загальний випуск теплоти з відборів турбін Q_t . Витрата пари на регенеративний підігрів використаної води $D_{рег}$ складає 15% від витрати пари на турбіну. Середній відносний внутрішній ККД турбіни $\eta_{oi}=0,8$, $\eta_{em}=0,96$.

Кратність охолодження конденсатора m ; продувка градирні $\alpha_{np} = 0,2\%W_{oe}$; крапельний винос води в градирні $\alpha_k = 0,1\%W_{oe}$. Охолодження циркуляційної води на 80 % здійснюється за рахунок випаровування.

Таблиця 2.7 – Вихідні дані (за останньою цифрою шифру)

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p_k , кПа	3,0	3,5	4,0	4,5	3,0	3,5	4,0	4,5	3,0	3,5
N_e , МВт	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550

Таблиця 2.8 – Вихідні дані (за передостанньою цифрою шифру)

Цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q_T , МВт	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
p_T , МПа	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
m	40	45	50	55	60	55	50	45	40	60

Методичні вказівки до розрахунку

По-перше, за вихідними даними з допомогою h-S діаграми водяної пари визначаємо такі параметри: h_0 , h_{KT} , H_0 , h_K , $h_{відб}$, $h'_{відб}$, $u_{відб}$.

Відпуск пари з відборів турбін, кг/с,

$$D_{відб} = \frac{Q_m}{h_{відб} - h'_{відб}} \quad (2.15)$$

Витрата пари на турбіну, кг/с,

$$D_m = 1,15 \cdot \left(\frac{N_e}{H_0 \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_{em}} \right) + y_{відб} \cdot D_{відб} \quad (2.16)$$

Конденсаційний потік пари, кг/с,

$$D_k = D_m - D_{відб} - D_{рег} \quad (2.17)$$

За умов сталого режиму та рівного парціального тиску водяних парів у конденсаторі і в градирні можна прийняти $W_{випар} \approx 0,8D_k$.

Витрата циркуляційної води, кг/с,

$$W_{ов} = m \cdot D_k \quad (2.18)$$

Витрата додаткової води на підживлення циркуляційної системи, кг/с

$$W_{дод} = W_{випар} + W_{прод} + W_{ун} \quad (2.19)$$

Доза хлору, який вводиться, визначається за формулою, мг/дм³,

$$D_d = \Pi \cdot \kappa_y + 2, \quad (2.20)$$

де κ_y – коефіцієнт випаровування,

$$\kappa_y = \frac{p_1 + p_2 + p_3}{p_2 + p_3}, \quad (2.21)$$

де p_1, p_2, p_3 – витрата води (відсоток витрати циркуляційної води) на випаровування, крапельний винос і продувку

$$p_i = \frac{W_i}{W_{об}}. \quad (2.22)$$

Обробка води проводиться протягом однієї години з періодичністю 3-4 рази за місяць.

Годинна витрата хлору, кг/год.

$$G_d = D_d \cdot W_{об}. \quad (2.23)$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування: Навч. посібник / Н.А. Шаройко, А.О. Каграманян, І.П. Полтавський та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 400 с.

2 Рихтер Л.А., Волков Л.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 296 с.

3 Сигал И.А. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1987. – 294 с.

4 Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.

5 Русанов А.А., Урбах И.И., Анассиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике / А.А. Русанов, И.И.Урбах, А.П. Анассиади. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.

6 Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 396 с.

7 Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 р. //Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 50. – С. 1511-1525.

8 Баженов М.И., Богородский А.С. Сборник задач по курсу «Промышленные электростанции»: Учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1989. – 352с.

9 Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Н.Г. Залогина. – М.: Энергия, 1979. – 352 с.

10 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Госкомгидромет, 1987. – 93 с.

11 Про затвердження правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами: Постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465.

12 Малющенко В.В., Михайлов А.К. Энергетические насосы: Справ. Пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 200 с.