

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградський національний технічний університет
Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

Сучасні технології захисту атмосфери
методичні вказівки
до виконання курсової роботи
для студентів спеціальностей 7.04010601, 8.04010601 –
“Екологія та охорона навколишнього середовища”

Затверджена на засіданні кафедри
Екології та ОНС
Протокол №1 від 31 серпня 2018р.
Укладач : С.А. Мартиненко

Кіровоград – 2014

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ.....	3
1.1. Мета курсової роботи.....	3
1.2. Обсяг курсової роботи.....	3
1.3. Зміст курсової роботи.....	4
2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	7
2.1 Визначення кількості шкідливих речовин, що фактично викидаються котельнею в атмосферу в одиницю часу.....	9
2.2 Визначення висоти труби котельні.....	10
2.3 Визначення граничнодопустимих викидів поллютантів.....	13
2.4 Визначення приземної максимальної концентрації поллютантів і відстані, на якій вона очікується.....	14
2.5. Визначення категорій небезпечності підприємства.....	15
2.6. Визначення ступеня забрудненості атмосфери і розміру санітарно-захисної зони підприємства.....	17
2.7. Приклад розрахунку.....	18
2.7.1. Кількість шкідливих речовин, що викидаються котельнею.....	18
2.7.2. Визначення висоти труби котельні.....	19
2.7.3. Визначення ГДВ поллютантів.....	21
2.7.4. Визначення $C_{\text{тах}}$ і $X_{\text{м}}$	22
2.7.5. Визначення категорії небезпечності підприємства і рекомендованої санітарно-захисної зони.....	23
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	24
Додаток 1. Бланк завдання на виконання курсової роботи.....	25
Додаток 2. Варіанти витрати палива.....	26

I. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1.1. Мета курсової роботи

Виконання курсової роботи є одним із методів закріплення і розвитку теоретичних знань, отриманих, при вивченні дисципліни “Технологія захисту атмосфери”.

Під час виконання курсової роботи студенти набувають практичних навиків самостійного вирішення задач щодо визначення ступеня забрудненості атмосфери котельнею підприємства, як одного з найпоширеніших промислових джерел забруднення повітря, і прийняття на підставі аналізу результатів розрахунків обґрунтованих рішень щодо екологічної небезпечності підприємства і способів захисту навколишнього середовища від його шкідливих викидів. Разом з тим виконання курсової роботи розвиває у студентів уміння користуватися нормативними матеріалами і довідковою літературою під час вирішення інженерних задач у галузі екології.

1.2. Обсяг курсової роботи

Тема курсової роботи. “Розрахунок ступеня забрудненості атмосфери”.

Курсова робота має включати такі розділи:

- визначення кількості шкідливих речовин полютантів, що фактично викидаються котельнею в атмосферу;
- визначення висоти викиду полютантів (висоти труби котельні);
- визначення граничнодопустимих викидів полютантів;

- визначення приземної максимальної концентрації поллютантів і відстані, на якій вона очікується;
- визначення категорії небезпечності підприємства;
- визначення ступеня забрудненості атмосфери і розмірів санітарно-захисної зони підприємства;
- основні напрямки підвищення енерго-екологічної ефективності об'єктів теплоенергетики;
- список використаної літератури.

Курсова робота має бути написана українською мовою, та відредагована. Текст може бути написаний від руки чітко і акуратно чорним, синім або фіолетовим чорнилом на стандартних аркушах формату А4 (210x297 мм). Він також може бути надрукований, залишаючи поля такого розміру: ліве – 30мм, праве – 10 мм, верхнє і нижнє – 15 мм. Рекомендується використовувати шрифт *Times New Roman* з кеглем 14і міжрядковим інтервалом 1,5 – 2,0. Обсяг тексту (без урахування списку використаної літератури та додатків) 25 – 30 сторінок. Абзацний відступ – 5 знаків (1,25см). Формули, текст латинськими літерами, якщо не можна їх надрукувати, вписують від руки чорним чорнилом, розбірливим почерком.

Титульний аркуш приведено в Додатку 1.

1.3. Зміст курсової роботи

Виконання курсової роботи починається із вступу, в якому студент, визначивши поняття забруднення біосфери, повинен охарактеризувати основні джерела техногенного забруднення атмосферного повітря і вплив емісії шкідливих речовин на навколишнє природне середовище, дати характеристику нормативної бази

забруднення, охарактеризувати проблеми реалізації природоохоронних заходів та наслідків шкідливого впливу полутантів на населення.

Під час спалювання палива в топках котельних установок в атмосферу викидається значна кількість шкідливих речовин, яка визначається, як і склад цих речовин, маркою палива (зольністю і вмістом сірки), типом топкового пристрою і наявністю пиловловлювальної апаратури. Основними інгредієнтами викиду котелень в атмосферу під час спалювання твердих і рідких палив є пил, сірчистий ангідрид, окисли азоту і окис вуглецю, характеристики яких (з точки зору їх впливу на якість атмосферного повітря) наведені в дод. ____ [9]. Усі ці речовини мають здатність до сумарної дії на організм людини (проявляється ефект сумації) [5].

З метою оцінки ступеня забрудненості атмосферного повітря і визначення категорії небезпечності підприємства необхідно визначити кількість полутантів, фактично викинутих котельнею.

Розробляючи заходи щодо скорочення викидів під час проектування, будівництва і реконструкції котелень, не рекомендується передбачати викиди шкідливих речовин через велику кількість низьких труб. Слід централізувати ці викиди через одну трубу, висота якої H не повинна перевищувати висоту прилеглих до неї будівель в радіусі $(4...5)H$ не менше ніж у два з половиною рази. Збільшення висоти труби для забезпечення розсіювання з метою додержання норм граничнодопустимих концентрацій (ГДК) у приземному шарі атмосфери допускається тільки після повного

використання всіх доступних на сучасному рівні технічних засобів щодо скорочення викидів.

Під час розрахунків висоти труби і граничнодопустимого викиду (ГДВ) для кожного поллютанту повинні враховуватися фонові концентрації шкідливих речовин [9]. Оскільки джерело викидає декілька різних шкідливих речовин, то під час розрахунку ГДВ за мінімальну висоту викиду повинно прийматися найбільше із значень H , які визначені для кожного поллютанту окремо. Фактичні викиди поллютантів котельнею не повинні перевищувати їх ГДВ у будь-який 20 – 30- хвилинний проміжок часу, тому в розрахунках H і ГДВ потрібно використовувати величини максимальних разових граничнодопустимих концентрацій поллютантів – $ГДК_{мр}$ [8].

Ступінь небезпечності забруднення приземного шару атмосферного повітря викидами шкідливих речовин визначається за найбільшою розрахованою величиною приземної концентрації шкідливих речовин C , яка може встановлюватися на деякій відстані від місця викиду у разі несприятливих метеорологічних умов

Величина найбільшої концентрації кожного поллютанту C_{max} у приземному шарі атмосфери не повинна перевищувати величину максимальної разової граничнодопустимої концентрації даного поллютанту в атмосферному повітрі $ГДК_{мр}$, установлену санітарними нормами проектування промислових підприємств [9].

Важливим результатом роботи є визначення категорії небезпечності підприємства і пов'язаного з нею розміру санітарно-захисної зони, оскільки, залежно від тієї чи іншої категорії,

здійснюється облік викидів поллютантів в атмосферу і запроваджується періодичність звітності і контролю за викидами підприємств.

Завершується виконання курсової роботи висновками щодо ступеня забрудненості атмосферного повітря викидами котельні, визначенням категорії небезпечності підприємства і його характеристики, рекомендаціями щодо необхідності впровадження природоохоронних заходів на підприємстві.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота виконується згідно із завданням, варіант якого для студентів очного навчання поданий в табл. А (дод. 2), визначається керівником роботи. Для студентів заочного та дистанційного навчання варіант завдання, поданий в табл. Б (дод. 2), визначається останньою цифрою залікової книжки студента.

Вихідні дані:

1. Паливо топки котельні – донецьке кам'яне вугілля марки ДР (довгополум'яне):

- витрата палива (згідно із завданням, дод. 2);
- зольність $A^p = 17 \%$;
- сірковміст $S^p = 3 \%$;
- нижча теплота згоряння ($Q^p_H = 5030$ ккал/кг;
- теоретично необхідний об'єм повітря (стехіометричне згоряння) $V^o_o = 5,52$ м³/кг;
- об'єм димових газів (стехіометричне згоряння) $V^o_z = 6,06$ м³/кг;

– коефіцієнт, що характеризує залежність продуктів згоряння від виду палива, $K=1,19$.

2. Шкідливі речовини, що викидаються в атмосферу котельні, та їхня характеристика [6]:

Полютанти	ГДК _{сд} , мг/м ³	ГДК _{мр} , мг/м ³	Клас небезпечності
Пил нетоксичний	0,15	0,5	3
Сірчистий ангідрид – SO ₂	0,05	0,5	3
Окисли азоту – NO _x	0,04	0,085	2
Окис вуглецю – CO	3,0	5,0	4

3. Котельня обладнана димовою трубою з діаметром $D = 1,5$ м.
4. Пилогазоочисного обладнання котельня немає.
5. Температура газів, що виходять з труби, становить 205°C, розрахункова температура атмосферного повітря становить 25°C.
6. В зоні, окресленій радіусом, що дорівнює 50 висотам труби, перепад відзначок місцевості не перевищує 50 м на 1 км.
7. Фонові концентрації поліутантів в підприємства становлять:
 $C_{\phi}^n = 0,1$ мг/м³; $C_{\phi}^{SO_2} = 0,05$ мг/м³; $C_{\phi}^{NOx} = 0,005$ мг/м³, $C_{\phi}^{CO} = 2$ мг/м³.
8. Розрахункові характеристики топки:
 - коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,4$;
 - частка золи палива у виносі $q_{yn} = 0,17$,
 - втрати теплоти з механічним недопалом $q_n = 6\%$,
 - втрати теплоти через хімічну неповноту згоряння $q_3 = 1\%$.
9. Котел працює при повному номінальному навантаженні ($N = 100\%$).
10. Котел обладнаний механізованою топкою, під час роботи якої максимальна об'ємна концентрація NO_x становить $C_{NOx} = 0,05$ мг/м.

**2.1. Визначення кількості шкідливих речовин,
що фактично викидаються котельнею в атмосферу
за одиницю часу**

Кількість пилу, який викидається котельними установками:

$$M_n = 0,01 \cdot B \cdot q_{yn} \cdot \left(A^p + q_n \cdot \frac{Q_n^p}{7800} \right),$$

де B – витрата палива, кг/год;

q_{yn} – частка золи палива, яка виноситься газами;

A^p – зольність на робочу масу палива, %;

q_n – втрата тепла з механічним недопалом, %;

Q_n^p – нижча теплота згоряння палива ккал/кг.

Масова кількість сірчистого ангідриду, яка викидається під час спалювання палива:

$$M_{so_2} = 0,019 \cdot S^p \cdot B,$$

де S^p – вміст сірки в робочому паливі, %.

Кількість окислів азоту, яка утворюється під час спалювання палива:

$$M_{NOx} = 20,5 \cdot K \cdot C_{NOx} \cdot Q_n^p \cdot B \cdot N \cdot 10^{-8},$$

де K – коефіцієнт, який характеризує залежність об'єму продуктів горіння від виду палива;

C_{NOx} – максимальна об'ємна концентрація NO_x при номінальному навантаженні котлоагрегату, мг/м³;

N – навантаження котлоагрегату, %.

Масова кількість окису вуглецю, яка викидається в атмосферу котельною установкою:

$$M_{co} = 45 \cdot C_{co} \cdot V_I,$$

де C_{co} – концентрація окису вуглецю в одиниці об'єму димових газів, %. Визначається для механізованих топкових пристроїв таким чином:

$$C_{co} = 0,2 \cdot q_3,$$

де q_3 – втрати тепла через хімічну неповноту згоряння палива, %;

V_I – об'ємна витрата димових газів, м³/с, які викидаються в атмосферу трубою, визначається таким чином:

$$V_I = \frac{[V_G^0 + (\alpha - 1) \cdot V_0] \cdot B \cdot \frac{T_G}{273}}{3600},$$

де V_G^0 – об'єм димових газів, що утворюється під час стехіометричного згоряння 1 кг палива, м³/кг;

V_0 – теоретично необхідний об'єм повітря для повного згоряння 1 кг палива, м³/кг;

T_G – температура газів, що виходять з труби, у Кельвінах.

Завершенням цього розрахунку є визначення фактичних викидів в грамах за секунду і в тонах за рік.

2.2. Визначення висоти труби котельні

Висота труби визначається для кожного полютанту окремо.

Висота труби котельні визначає собою висоту викиду димових газів з метою використання ефекту розсіювання шкідливих речовин в

атмосфері.

Оскільки має місце викид гарячої газоповітряної суміші із димової труби, то початкове значення висоти викиду (труби) H визначається за формулою [3]:

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(\Gamma DK_{\text{мр}} - C_{\phi}) \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}}$$

де A – коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери і визначає умови горизонтального і вертикального розсіювання атмосферних домішок; приймається для несприятливих метеорологічних умов, при яких концентрація шкідливих речовин в атмосфері від джерела викиду досягає максимальних значень: для України $A = 160$;

M – кількість даної шкідливої речовини, що викидається в атмосферу за одиницю часу, г/с;

F – коефіцієнт, який враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері; величина F приймається такою: для газоподібних шкідливих речовин (сірчистого газу, окису вуглецю, окислів азоту) і дрібнодисперсних аерозолів, швидкість впорядкованого осідання найбільш крупних фракцій яких не перевищує 3-5 см/с, - $F = 1$;

для крупнодисперсного пилу та золи при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення:

- не менше 90 % - $P = 1$;
- 75- 80% - $F = 2,5$;
- менше 75% або при відсутності очищення – $F = 3$;

V_I – об’ємна витрата димових газів, що викидаються трубою, $\text{м}^3/\text{с}$;

$G_{\text{ДКм.р}}$ – максимальна разова граничнодопустима концентрація
поллютанту, $\text{мг}/\text{м}^3$;

$C\phi$ – фонові концентрації поллютанту, $\text{мг}/\text{м}^3$,

$\Delta T = T_{\Gamma} - T_B$ – різниця між температурою викинутих димових
газів T_{Γ} і температурою оточуючого повітря T_B

За знайденим значенням H визначаються параметри V_{\max} і f :

$$V_{\max} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{V_I \cdot \Delta T}{H}}, \quad f = 10^3 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}.$$

де $w_0 = \frac{4 \cdot V_I}{\pi \cdot D^2}$ – середня швидкість виходу газоповітряної суміші із
димової труби, $\text{м}/\text{с}$;

D – діаметр димової труби, м .

Якщо значення параметра $V_{\max} < 2 \text{ м}/\text{с}$, то необхідно уточнити
отримане значення H . Для цього за значенням V_{\max} і f визначаються
безрозмірні коефіцієнти n і m :

при $V_{\max} \leq 0,3$, $n = 3$;

при $0,3 < V_{\max} \leq 2$, $n = 3 - \sqrt{(V_{\max} - 0,3) \cdot (4,36 - V_{\max})}$;

при $V_{\max} > 2$, $n = 1$.

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

Подальший розрахунок виконується за рекурентною
формулою:

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

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

Початкове значення n_{i-1} прийняти з умови $n_i - n_{i-1} = 0,1$.

Початкове значення m_{i-1} прийняти з умови $m_i - m_{i-1} = 0,1$.

Уточнення значення H необхідно проводити до тих пір, доки два послідовно знайдені значення H_i і H_{i-1} практично не будуть відрізнятися одне від одного у межах 1%.

Завершенням цього розрахунку є остаточний вибір висоти труби котельні H , через яку викидаються всі шкідливі речовини і розрахунок параметрів V_{max} , f і коефіцієнтів n і m для вибраної висоти H .

2.3. Визначення гранично-допустимих викидів політантив

Розрахунок ведеться для кожного політанти за формулою:

$$ГДВ = \frac{(ГДК_{\text{мр}} - C_{\phi}) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_L \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot n \cdot m \cdot \eta},$$

де η – коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості на розсіювання домішок; $\eta=1$, якщо в радіусі 50 висот труби H від джерела перепад відзначок місцевості не перевищує 50 м/км; в інших випадках поправка на рельєф устанавлюється на основі аналізу картографічного матеріалу, висвітлюю чого рельєф місцевості в радіусі 50 висот труби від джерела, але не менше 2 км [8].

Суть інших фізичних величин і коефіцієнтів, що входять у формулу, була наведена вище.

Завершенням цього розрахунку є перевірка умови $M \leq ГДВ$ для кожного полютанту, пропозиція впровадження того чи іншого заходу з метою збільшення ГДВ полютанту, для якого вищевказана нерівність не виконується, та перевірка (розрахунок) ефективності цього заходу.

2.4. Визначення приземної концентрації полютантів і відстані, на якій вона очікується

Розрахунок ведеться для кожного полютанту окремо.

Величина максимальної приземної концентрації C_{max} шкідливих речовин від одиночного (точкового) джерела з круглим отвором для викиду нагрітої газоповітряної суміші при несприятливих метеоумовах визначається таким чином:

$$C_{max} = \frac{A \cdot F \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}},$$

де M – кількість даної шкідливої речовини, що викидається в атмосферне повітря за одиницю часу, г/с.

Величина максимальної приземної концентрації C_{max} має місце на осі факела викиду на відстані X_m від джерела викиду. Величина X_m визначається за формулою:

$$X_m = d \cdot H,$$

де d – безрозмірна величина, що визначається таким чином:

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

при $V_{max} > 2$ $d = 7 \cdot \sqrt{V_{max}} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$.

Ці залежності використовують у випадках, коли коефіцієнт $f < 2$.

Якщо ж $f \geq 2$, величина X_m визначається:

$$X_m = \frac{5-f}{4} \cdot d \cdot H,$$

Суть фізичних величин і коефіцієнтів, що входять в наведені вище залежності, була розглянута раніше.

Завершенням цього розрахунку є перевірка умови безпечної роботи людей у місці розташування котельні підприємства із врахуванням фонових забруднень атмосфери і ефекту сумачії політантів:

$$\frac{C_{max}^{\Pi} + C_{\phi}^{\Pi}}{ГДК_{\text{мр}}^{\Pi}} + \frac{C_{max}^{SO_2} + C_{\phi}^{SO_2}}{ГДК_{\text{мр}}^{SO_2}} + \frac{C_{max}^{NOx} + C_{\phi}^{NOx}}{ГДК_{\text{мр}}^{NOx}} + \frac{C_{max}^{CO} + C_{\phi}^{CO}}{ГДК_{\text{мр}}^{CO}} \leq 1$$

У разі невиконання цієї нерівності запропонувати (чисто якісно) упровадження будь-якого заходу для зменшення ступеня забрудненості атмосфери.

2.5 Визначення категорії небезпечності підприємства

Категорію небезпечності підприємств (КНП) розраховують за виразом [5].

$$КНП = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ГДК_{\text{сд}}^i} \right)^{a_i},$$

де M_i – маса викиду i -го полютанту за одиницю часу, т/рік;

$ГДК_{сд}$ – середньодобова граничнодопустима концентрація i -того полютанту, мг/м³;

n – кількість шкідливих речовин, які викидаються підприємством і забруднюють атмосферу;

a_i – безрозмірна константа, яка дозволяє порівняти ступінь шкідливості i - того полютанту зі шкідливістю сірчистого газу;

a_i – визначається за табл. 2.1 [5].

Таблиця 2.1

Безрозмірна константа
відповідно до класу небезпечності речовин

Клас небезпечності речовин	1	2	3	4
Константа a_i	1,7	1,3	1,0	0,9

За величиною КНП підприємства поділяються на чотири категорії небезпечності. Граничні умови для виділення підприємства за категорією небезпечності та рекомендовані розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємства наведено в табл. 2.2 [5].

Таблиця 2.2

Категорії небезпечності підприємств,
граничні значення КНП та розміри санітарно-захисної зони

Категорії небезпечності	Значення КНП	Санітарно-захисна зона, м
I	$\geq 10^8$	1000
II	$10^8 > КНП \geq 10^4$	500
III	$10^4 > КНП \geq 10^3$	300
IV	$> 10^3$	100

Завершенням цього розрахунку є висновок про те, до якої категорії небезпечності відноситься підприємство і який розмір має рекомендована санітарно-захисна зона підприємства.

2.6. Визначення ступеня забрудненості атмосфери і розміру санітарно-захисної зони підприємства

Ступінь забрудненості атмосфери підприємства окремими поліюантами, які викидають трубою котельні, можна оцінити, аналізуючи формулу визначення КНП, наведену в попередньому розділі. Це – многочлен, у якого чисельний результат кожного члена оцінює ступінь забрудненості атмосфери відповідним поліюантом.

Визначивши рекомендований розмір СЗЗ підприємства за КНП, слід пересвідчитись, що він буде достатнім, шляхом порівняння його з величиною X_m для кожного поліюанту. Необхідно пам'ятати, що відведення землі під СЗЗ понад необхідної норми, є нераціональним.

2.7. Приклад розрахунку

Для розрахунку використовуємо вихідні дані роботи (див. с.7) з витратою палива в топці котельні $B=1850$ кг/год.

2.7.1. Визначення кількості шкідливих речовин, що викидаються котельнею

$$M_{\text{з}} = 0,01 \cdot B \cdot q_{\text{yh}} \left(A^p + q_{\text{н}} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^p}{7800} \right) = 0,01 \cdot 1850 \cdot 0,17 \cdot \left(17 + 6 \cdot \frac{5030}{7800} \right) = 65,64 \text{ кг} / \text{год}.$$

$$M_{\text{SO}_2} = 0,019 \cdot S^p \cdot B = 0,019 \cdot 3 \cdot 1850 = 105,5 \text{ кг} / \text{год};$$

$$M_{\text{NO}_x} = 20,5 \cdot K \cdot C_{\text{NO}_x} \cdot Q_u^p \cdot B \cdot N \cdot 10^{-8} = 20,5 \cdot 1,19 \cdot 0,05 \cdot 5030 \cdot 1850 \cdot 100 \cdot 10^{-8} = 11,35 \text{ кг} / \text{год};$$

$$V_I = \frac{[V_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) \cdot V_0] \cdot B \cdot \frac{T_{\Gamma}}{273}}{3600} =$$

$$= \frac{[6,06 + (1,4 - 1) \cdot 5,52] \cdot 1850 \cdot \frac{478}{273}}{3600} = 7,439 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$C_{\text{CO}_2} = 0,2 \cdot q_3 = 0,2 \cdot 1 = 0,2;$$

$$M_{\text{CO}} = 45 \cdot C_{\text{CO}} \cdot V_I = 45 \cdot 0,2 \cdot 7,439 = 66,95 \text{ кг} / \text{год};$$

$$\text{Отже, } M_{\text{II}} = 65,64 \text{ кг} / \text{год} = 18,23 \text{ г} / \text{с} = 575 \text{ т} / \text{рік};$$

$$M_{\text{SO}_2} = 105,5 \text{ кг} / \text{год} = 29,31 \text{ г} / \text{с} = 924,2 \text{ т} / \text{рік};$$

$$M_{NO_x} = 11,35 \text{ кг} / \text{год} = 3,153 \text{ т} / \text{рік};$$

$$M_{CO} = 66,95 \text{ кг} / \text{год} = 18,6 \text{ т} / \text{рік}.$$

2.7.2. Визначення висоти труби котельні

$$H_i^{II} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(\Gamma DK_{mp} - C_{\phi}) \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{160 \cdot 18,23 \cdot 3}{(0,5 - 0,1) \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}} = 45,09 \text{ м};$$

$$H_i^{SO_2} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(\Gamma DK_{mp}^{SO_2} - C_{mp}^{SO_2}) \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{160 \cdot 29,31 \cdot 1}{(0,5 - 0,05) \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}} = 30,75 \text{ м};$$

$$H_i^{NO_x} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(\Gamma DK_{mp}^{NO_x} - C_{mp}^{NO_x}) \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{160 \cdot 3,153 \cdot 1}{(0,085 - 0,005) \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}} = 23,92 \text{ м};$$

$$H_i^{CO} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(\Gamma DK_{mp}^{CO} - C_{mp}^{CO}) \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{160 \cdot 18,6 \cdot 1}{(5,0 - 2,0) \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}} = 9,488 \text{ м};$$

За мінімальну висоту викиду поллютантів приймаємо найбільшу висоту труби $H_l = 45,09 \text{ м}$.

$$\text{Далі: } V_{\max_i} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_l \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{7,439 \cdot 180}{45,09}} = 1,99.$$

де $w_0 = \frac{4 \cdot V_l}{\pi \cdot D^2}$ - середня швидкість виходу газоповітряної суміші із димової труби, м/с;

$$w_0 = \frac{4 \cdot 7,439}{3,14 \cdot 1,5^2} = 4,212 \text{ м/с}.$$

Так як $V_{\max_i} < 2$, то одержана величина H_i потребує уточнення.

Для цього розраховуємо:

$$n_i = 3 - \sqrt{(V_{\max_i} - 0,3) \cdot (4,36 - V_{\max_i})} = 3 - \sqrt{(1,99 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,99)} = 0,999$$

$$f_i = 10^3 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H_i^2 \cdot \Delta T} = 10^3 \cdot \frac{4,212^2 \cdot 1,5}{45,09^2 \cdot 180} = 0,073;$$

$$m_i = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f_i} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_i}} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,073} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,073}} = 1,192;$$

$$n_{i-1} = n_i - 0,1 = 0,999 - 0,1 = 0,899;$$

$$m_{i-1} = m_i - 0,1 = 1,192 - 0,1 = 1,092;$$

$$H_{i+1} = H_i \cdot \sqrt{\frac{m_i \cdot n_i}{m_{i-1} \cdot n_{i-1}}} = 45,09 \cdot \sqrt{\frac{1,192 \cdot 0,999}{1,092 \cdot 0,899}} = 49,66 \text{ м};$$

$$V_{\max_{i+1}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_l \cdot \Delta T}{H_{i+1}}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{7,439 \cdot 180}{49,66}} = 1,949;$$

$$\begin{aligned} n_{i+1} &= 3 - \sqrt{(V_{\max_{i+1}} - 0,3) \cdot (4,36 - V_{\max_{i+1}})} = \\ &= 3 - \sqrt{(1,949 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,949)} = 1,006; \end{aligned}$$

$$f_{i+1} = 10^3 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H_{i+1}^2 \cdot \Delta T} = 10^3 \cdot \frac{4,212^2 \cdot 1,5}{49,66^2 \cdot 180} = 0,06;$$

$$m_{i+1} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f_{i+1}} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_{i+1}}} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,06} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,06}} = 1,209;$$

$$H_{i+2} = \sqrt{\frac{m_{i+1} \cdot n_{i+1}}{m_i \cdot n_i}} = 49,66 \cdot \sqrt{\frac{1,209 \cdot 1,006}{1,192 \cdot 0,999}} = 50,19 \text{ м.}$$

Висоти H_{i+2} і H_{i+1} різняться між собою в межах 1%. Тому остаточною величиною висоти труби є $H = 50,19$ м.

Далі розраховуємо:

$$V_{max} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_l \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{7,439 \cdot 180}{50,19}} = 1,942;$$

$$f = 10^3 \cdot \frac{\varpi_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 10^3 \cdot \frac{4,212^2 \cdot 1,5}{50,19^2 \cdot 180} = 0,059;$$

$$n = 3 - \sqrt{(V_{max} - 0,3) \cdot (4,36 - V_{max})} =$$

$$= 3 - \sqrt{(1,942 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,942)} = 1,007;$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,059} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,059}} = 1,211.$$

2.7.3. Визначення ГДВ полютантів

$$ГДВ^{\Pi} = \frac{\left(ГДК_{\text{мр}}^{\Pi} - C_{\phi}^{\Pi}\right) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot n \cdot m \cdot \eta} =$$

$$= \frac{(0,5 - 0,1) \cdot 50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}{160 \cdot 3 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1} = 18,97 \text{ г/с};$$

$$ГДБ^{SO_2} = \frac{\left(ГДК_{\text{мр}}^{SO_2} - C_{\phi}^{SO_2}\right) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot n \cdot m \cdot \eta} =$$

$$= \frac{(0,5 - 0,05) \cdot 50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}{160 \cdot 3 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1} = 21,34 \text{ г/с};$$

$$ГДБ^{NO_x} = \frac{\left(ГДК_{\text{мр}}^{NO_x} - C_{\phi}^{NO_x}\right) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot n \cdot m \cdot \eta} =$$

$$= \frac{(0,085 - 0,005) \cdot 50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}{160 \cdot 3 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1} = 11,38 \text{ г/с};$$

$$ГДБ^{CO} = \frac{\left(ГДК_{\text{мр}}^{CO} - C_{\phi}^{CO}\right) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot n \cdot m \cdot \eta} =$$

$$= \frac{(5,0 - 2,0) \cdot 50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}}{160 \cdot 3 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1} = 426,8 \text{ г/с}.$$

2.7.4. Визначення C_{max} і X_m

$$C_{\text{max}}^{\text{П}} = \frac{A \cdot F \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}} = \frac{160 \cdot 3 \cdot 18,23 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1}{50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}} = 0,384 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{max}}^{SO_2} = \frac{A \cdot F \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}} = \frac{160 \cdot 1 \cdot 18,23 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1}{50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}} = 0,206 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{max}}^{NO_x} = \frac{A \cdot F \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}} = \frac{160 \cdot 1 \cdot 3,153 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1}{50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}} = 0,022 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{max}}^{CO} = \frac{A \cdot F \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_l \cdot \Delta T}} = \frac{160 \cdot 1 \cdot 18,6 \cdot 1,211 \cdot 1,007 \cdot 1}{50,19^2 \cdot \sqrt[3]{7,439 \cdot 180}} = 0,131 \text{ мг/м}^3;$$

$$d = 4,95 \cdot V_m \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}\right) = 4,95 \cdot 1,942 \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,059}\right) = 10,66;$$

$$X_M^{\Pi} = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H = \frac{5-3}{4} \cdot 10,66 \cdot 50,19 = 267,5 \text{ м};$$

$$X_M^{SO_2} = X_M^{NO_x} = X_M^{CO} = d \cdot H = 10,66 \cdot 50,19 = 535 \text{ м.}$$

$$\begin{aligned} & \frac{C_{max}^{\Pi} + C_{\phi}^{\Pi}}{\Gamma ДК_{\text{мр}}^{\Pi}} + \frac{C_{max}^{SO_2} + C_{\phi}^{SO_2}}{\Gamma ДК_{\text{мр}}^{SO_2}} + \frac{C_{max}^{NO_x} + C_{\phi}^{NO_x}}{\Gamma ДК_{\text{мр}}^{NO_x}} + \frac{C_{max}^{CO} + C_{\phi}^{CO}}{\Gamma ДК_{\text{мр}}^{CO}} = \\ &= \frac{0,384 + 0,1}{0,35} + \frac{0,206 + 0,05}{0,5} + \frac{0,022 + 0,005}{0,085} + \frac{0,131 + 2,0}{5,0} = \\ &= 0,968 + 0,512 + 0,318 + 0,426 = 2,224 > 1 \end{aligned}$$

В зв'язку з проявом ефекту сумачії район розташування підприємства є небезпечним для працюючих.

2.7.5. Визначення категорії небезпечності підприємства і рекомендованої санітарно-захисної зони

$$\begin{aligned} K_{НП} &= \left(\frac{M_{\Pi}}{\Gamma ДК_{\text{сд}}^{\Pi}} \right)^{a_i} + \left(\frac{M_{SO_2}}{\Gamma ДК_{\text{сд}}^{SO_2}} \right)^{a_i} + \left(\frac{M_{NO_x}}{\Gamma ДК_{\text{сд}}^{NO_x}} \right)^{a_i} + \left(\frac{M_{CO}}{\Gamma ДК_{\text{сд}}^{CO}} \right)^{a_i} = \\ &= \left(\frac{575}{1} \right)^1 + \left(\frac{924,2}{0,05} \right)^1 + \left(\frac{99,43}{0,04} \right)^{1,3} + \left(\frac{586,5}{3,0} \right)^{0,9} = \\ &= 3833 + 18484 + 25947 + 115 = 48379 \end{aligned}$$

Підприємство відноситься до II-ї категорії небезпечності.
Рекомендований розмір санітарно-захисної зони становить 500 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Апостелюк С.О., Джигирей В.С., Соколовський І.А., Апостелюк А.С., Апостелюк Б.О., Сомар Г.В., Дадак Ю.Р., Рудик В.І., Юринец З.В. Захист атмосфери від шкідливих промислових викидів. Навчальний посібник. - К.: Основа, 2005.
2. Страус В. Промышленная очистка газов: Перевод с англ.– М., Химия, 1981. 616 с., ил. (Перевод Ю.Я.Косого).
3. О.Ю. Нікітченко Промислова екологія. Конспект лекцій. Харків, Нац. академія міськ. госп- ва. – Х.: ХНАМГ, 2013 –164 с.
4. Іванов С.В. Екологічна хімія: навч. посіб./ К.: В-во нац. авіац. ун-ту “НАУ-друк”, 2010. – 172 с.
5. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища: навч. посібник. – К.: Знання, 2000. - 204 с.
6. ГОСТ 17.2.1.01-76 Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу.
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ (ОНД-86), Госпромиздат. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 84 с.
8. Кирсанов А.Р., Миташова Н.И. Охрана окружающей среды на предприятиях бытового обслуживания: Справочник. – М.:

Летромбытиздат, 1987. – 240 с.

9. Сахаев В.Г., Щербицкий Б.В. Справочник по охране окружающей среды. – К.: Будівельник, 1986. - 150 с.

10.

Додаток 1

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

КУРСОВА РОБОТА

з Сучасних технологій захисту атмосфери
(назва предмету)

на тему: “Розрахунок ступеня забрудненості атмосфери”

Студента(ки) _____ курсу _____ групи
Напряму підготовки _____

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Оцінка ECTS _____

Члени комісії _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кіровоград – 20__рік

Додаток 2

Варіанти витрати, палива в топці котельні для студентів очного (табл. А) і заочного та дистанційного навчання (табл. Б).

Таблиця А

Номер варіанта	Витрата палива, кг/год
1	200
2	300
3	400
4	500
5	600
6	700
7	800
8	900
9	1000
10	1100
11	1200
12	1300
13	1400
14	1500
15	1600
16	1700
17	1800
18	1900
19	2000
20	2100
21	2200

22	2300
23	2400
24	2500
25	2600

Таблиця Б

Номер варіанта	Витрата палива, кг/год
0	500
1	700
2	900
3	1100
4	1300
5	1500
6	1700
7	1900
8	2100
9	2300

