

Національний університет цивільного захисту України

Факультет техногенно-екологічної безпеки

Кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки

М.В. Сарапіна

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ

Методичні рекомендації
до написання та оформлення курсової роботи
для курсантів і студентів спеціальності 101 «Екологія»

Харків – 2017

Друкується за рішенням
кафедри охорони праці та
техногенно-екологічної
безпеки НУЦЗ України
Протокол від 30.09.17 № 5

Укладач: М.В. Сарапіна

Рецензенти: доктор технічних наук, професор Е.Б. Хоботова, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;
кандидат технічних наук Дейнеко Н.В., старший науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру Національного університету цивільного захисту України

Техноекологія: методичні рекомендації до написання та оформлення курсової роботи для курсантів і студентів спеціальності 101 «Екологія» / Укладач: М.В. Сарапіна – Х. : НУЦЗУ, 2017. – с.

ЗМІСТ

	стор.
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА.....	3
ТЕМА ТА СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	4
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	14
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	20
ДОДАТКИ.....	21

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Навчальна дисципліна «Техноекологія» забезпечує формування знань щодо структури національного господарства, впливу його окремих галузей на навколишнє природне середовище, а також методів запобігання техногенному забрудненню довкілля. Під час вивчення дисципліни передбачається отримання професійних знань та умінь з проведення розрахунків, попередження та прогнозування антропогенних забруднень навколишнього середовища, вивчення методів очищення газових середовищ, промислових стоків, утилізації твердих відходів у різних галузях промисловості.

Методичні рекомендації з дисципліни «Техноекологія» розроблені для курсантів і студентів спеціальності 101 «Екологія» спеціалізації «Екологічна безпека» згідно з навчальним планом та призначені для ознайомлення з вимогами написання й особливостями оформлення курсової роботи.

Під час здійснення оцінки впливу підприємств на навколишнє середовище фахівець-еколог нерідко стикається з необхідністю розрахунку обсягів викидів від котельного обладнання, тому у курсовій роботі ставиться задача відпрацювання методики визначення ГKD 34.02.305—2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок» (чинну від 01.07.2002) за індивідуальним завданням.

Методика визначення «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок» встановлює порядок визначення викидів основних забруднювальних речовин та парникових газів, що надходять у атмосферне повітря з димовими газами, які утворюються під час спалювання органічного палива в енергетичних установках. Межі використання методики поширюються на котли та камери згоряння газотурбінних установок, які розміщені на теплових електричних станціях та котельних і працюють на твердому, рідкому та газоподібному паливі.

Основні напрями використання методики:

- складання державної та галузевої звітності;
- прогнознi оцінювання обсягів викидів забруднювальних речовин.

За цією методикою обліковуються такі забруднювальні речовини та парникові гази: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок; оксиди сірки SO_x у перерахунку на діоксид сірки або сірчистий ангідрид SO_2 ; оксиди азоту NO_x у перерахунку на діоксид азоту NO_2 ; оксид вуглецю CO ; важкі метали та їх сполуки; діоксид вуглецю CO_2 ; метан CH_4 ; азоту (I) оксид або оксид діазоту N_2O .

Виконання курсової роботи з дисципліни «Техноекологія» передбачає:

- дослідження існуючих різновидів котельних установок; характеристику палива, що може в них застосовуватись; аналіз хімічного складу димових газів; розгляд технологічних заходів, що можуть

застосовуватись для зниження обсягів викидів з котельних енергетичних установок;

- описання методики визначення «Викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок»;

- розрахунок за індивідуальним завданням обсягів валових викидів забруднювальних речовин у атмосферу від певної енергетичної установки, яка протягом деякого проміжку часу працювала на трьох різних видах палива (вугіллі, мазуті і природному газі) з урахуванням застосування на ній очисного обладнання (установки для очищення димових газів від оксидів азоту та сірки, електростатичних фільтрів, тощо), а також первинних заходів скорочення викидів (рециркуляція димових газів, ступенева подача повітря, застосування малотоксичних пальників, тощо), що дозволить зробити висновок щодо масштабів її впливу на навколишнє атмосферне повітря.

Основні критерії оцінки курсової роботи:

- вірність виконаних розрахунків, що свідчить про об'єктивність отриманих результатів;
- дотримання методичних вимог в оформленні роботи;
- усний захист теоретичної частини роботи.

ТЕМА ТА СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Тема курсової роботи з дисципліни «Техноекологія» має загальну назву: «Розрахунок викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичної установки».

Структура курсової роботи має включати такі структурні елементи:

- 1) Титульний аркуш
- 2) Завдання
- 3) Зміст
- 4) Вступ
- 5) Розділ 1. Вплив котельних енергетичних установок на атмосферне повітря
- 6) Розділ 2. Методика визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок розрахунковим методом
- 7) Розділ 3. Розрахунок викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичної установки
- 8) Висновки
- 9) Список використаних джерел
- 10) Додатки

ТИТУЛЬНИЙ АРКУШ є першою сторінкою курсової роботи і містить інформацію викладену у наступній послідовності:

- повна назва вищого навчального закладу, у якому виконано курсову роботу;
- повна назва кафедри виконавця курсової роботи;
- назва дисципліни;
- тема курсової роботи;
- данні про виконавця та керівника;
- підписи членів комісії, потім прізвища;
- місто та рік виконання роботи (**Додаток А**).

ЗАВДАННЯ має бути розміщено безпосередньо за *титульним аркушем*, починаючи з нової сторінки. У завданні надається назва навчального закладу, кафедри та дисципліни, тема курсового проекту (роботи), навчальна група, прізвище та ім'я по батькові виконавця, варіант завдання, вихідні данні і особливі вимоги до виконання завдання, посада і прізвище керівника, дата видачі завдання і термін захисту проекту (роботи). Завдання підписується керівником та виконавцем і додається до пояснювальної записки (**Додаток Б**).

ЗМІСТ розташовують безпосередньо *після завдання*, починаючи з нової сторінки. Зміст повинен мати відповідний заголовок, який розташовується у першому рядку сторінки. Після заголовку залишають *два вільні рядки*.

Зміст ілюструє структуру роботи і містить перелік таких структурних елементів, як: ВСТУП, послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, **ВИСНОВКИ**, **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**, **ДОДАТКИ**.

У структурній частині **ЗМІСТ**, **ВСТУП**, **РОЗДІЛ 1**, **РОЗДІЛ 2** і т. д. друкують великими літерами, а назви усіх підрозділів строчними літерами з великою заглавною (**Додаток В**).

ВСТУП розкриває сутність курсової роботи, обґрунтування актуальності і практичної цінності відпрацювання розрахункової роботи, мету і завдання роботи, об'єкт та предмет дослідження.

Вступ розташовують на окремій сторінці. Слово **ВСТУП** друкують великими літерами і пропускають два рядки.

ОСНОВНА ЧАСТИНА повинна чітко відповідати назві розділів і підрозділів, тобто розкривати суть їх назви. Розділи мають бути логічно між собою пов'язані і розкривати суть роботи.

РОЗДІЛ 1. Вплив котельних енергетичних установок на атмосферне повітря

Підрозділ має містити стислий опис:

- 1) котельних енергетичних установок і їх різновидів;
- 2) палива, що може застосовуватися для спалювання в котельних енергетичних установках (викопне вугілля, мазут, природний газ);

3) складу димових газів котельних енергетичних установок з описанням причин утворення у процесі горіння основних складових речовин димових газів (CO_2 , CO , летюча зола, сажа, SO_2 , NO , NO_2), їх токсикологічних властивостей;

4) технологічних заходів, що застосовуються для зниження викидів NO_x та SO_2 з димовими газами енергетичних установок:

- первинних заходів, що спрямовані на попередження або зниження утворення речовин у процесі роботи енергетичної установки: встановлення малотоксичних паливників, організація ступеневої подачі повітря, рециркуляції димових газів, трьохступеневої подачі повітря та палива, їх комбінації;

- вторинних заходів, спрямованих на очищення димових газів. Наприклад, сухе очищення з використанням активованого вугілля, каталітичне очищення *DESONOX*, *SNOX*; для скорочення викидів NO_x застосовуються методи селективного каталітичного і некаталітичного відновлення, для скорочення викидів SO_2 – мокре очищення у абсорберах (вапняний (вапняковий) метод, аміачно-технічна технологія, магнезитова циклічна технологія, процес Веллмана-Лорда).

РОЗДІЛ 2. Методика визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок розрахунковим методом

Наводиться методика визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок розрахунковим методом (ГКД 34.02.305-2002) з описанням галузі використання, нормативних посилань, основних положень, формул для розрахунків тощо [5].

Валовий викид j -ї забруднювальної речовини E_j , т, що надходить у атмосферу з димовими газами енергетичної установки за проміжок часу P , визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, у тому числі під час їх одночасного спільного спалювання:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad (2.1)$$

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

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

B_i – витрата i -го палива за проміжок часу P , т;

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

2.1 Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок

Показник емісії речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (далі – твердих частинок) визначається як специфічний і розраховується за формулою

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{\text{ВИН}} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{\text{ВИН}}} (1 - \eta_{\text{ЗУ}}) + k_{\text{ТБС}}, \quad (2.2)$$

або

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \left(a_{\text{ВИН}} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_C} \right) (1 - \eta_{\text{ЗУ}}) + k_{\text{ТБС}}, \quad (2.3)$$

- де $k_{\text{ТВ}}$ – показник емісії твердих частинок, г/ГДж;
 Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;
 $a_{\text{ВИН}}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи;
 Q_C – теплота згоряння вуглецю до CO_2 , яка дорівнює 32,68 МДж/кг;
 q_4 – втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива, %;
 $\eta_{\text{ЗУ}}$ – ефективність очищення димових газів від твердих частинок;
 $\Gamma_{\text{ВИН}}$ – масовий вміст горючих речовин у викидах твердих частинок, %;
 $k_{\text{ТБС}}$ – показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки і твердих частинок сорбенту, г/ГДж.

Вміст золи A^r в паливі та горючих у викиді твердих частинок $\Gamma_{\text{ВИН}}$ визначаються при проведенні технічного аналізу за ГОСТ 11022-95 (ISO 1171-81) палива і леткої золи, яка виходить з енергетичної установки, відповідно.

Зола палива виходить з енергетичної установки у вигляді леткої золи (виносу) та або донної золи (шлаку). Частка золи, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, $a_{\text{ВИН}}$ залежить від технології спалювання палива і визначається за даними останніх випробувань енергетичної установки, а за їх відсутності – за паспортними даними. За відсутності таких даних значення $a_{\text{ВИН}}$ приймаються згідно з таблицею Д.1 (додаток Д).

Значення ефективності очищення димових газів від твердих частинок $\eta_{\text{ЗУ}}$ визначається за результатами останніх випробувань золоуловлювальної установки або за її паспортними даними. Ефективність золоуловлювальної установки визначається як різниця між одиницею та відношенням масових концентрацій твердих частинок після і до золоуловлювальної установки.

При використанні сорбенту для зв'язування оксидів сірки в топці котла (наприклад, за технологіями спалювання палива в киплячому шарі) чи при застосуванні технологій сухого або напівсухого зв'язування сірки утворюються тверді частинки сульфату та сульфіту і невикористаного сорбенту. Показник емісії твердих частинок невикористаного в енергетичній установці сорбенту та утворених сульфатів і сульфітів $k_{\text{ТБС}}$, г/ГДж, розраховується за формулою

$$k_{\text{твS}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{S^r}{100} \left[\eta_I \frac{\mu_{\text{прод}}}{\mu_S} + (m - \eta_I) \frac{\mu_{\text{сорб}}}{\mu_S} \right] a_{\text{вин}} (1 - \eta_{\text{зу}}), \quad (2.4)$$

- де Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 S^r – масовий вміст сірки в паливі на робочу масу, %;
 $a_{\text{вин}}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи;
 $\mu_{\text{прод}}$ – молекулярна маса твердого продукту взаємодії сорбенту та оксидів сірки, кг/кмоль;
 $\mu_{\text{сорб}}$ – молекулярна маса сорбенту, кг/кмоль;
 μ_S – молекулярна маса сірки, яка дорівнює 32 кг/кмоль;
 m – мольне відношення активного хімічного елементу сорбенту та сірки (таблиця Д.2 додатка Д);
 η_I – ефективність зв'язування сірки сорбентом у топці або при застосуванні сухих та напівсухих методів десульфуризації димових газів (таблиці Д.2 і Д.3 додатка Д);
 $\eta_{\text{зу}}$ – ефективність очистки димових газів від твердих частинок.

2.2 Діоксид сірки SO₂

Показник емісії k_{SO_2} , г/ГДж, оксидів сірки SO₂ та SO₃, у перерахунку на діоксид сірки SO₂, які надходять у атмосферу з димовими газами, є специфічним і розраховується за формулою

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \quad (2.5)$$

- де Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 S^r – вміст сірки в паливі на робочу масу за проміжок часу P , %;
 η_I – ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом у енергетичній установці;
 η_{II} – ефективність очистки димових газів від оксидів сірки;
 β – коефіцієнт роботи сіркоочисної установки.

Масовий вміст сірки в робочій масі потрібно визначати під час технічного аналізу палива відповідно до ГОСТ 27313-95 (ISO 1170-77).

Усереднені значення вмісту сірки для різних видів і марок палива наведено в додатку Г. Ці значення беруться у випадку відсутності достовірних даних технічного аналізу.

Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом у енергетичній установці η_I залежить від технології спалювання та хімічного складу палива, яке спалюється, і типу сорбенту. Під час спалювання твердого палива, до мінеральної складової якого входять сполуки лужних та лужноземельних металів, відбувається часткове зв'язування сірки з утворенням сульфатів або сульфідів. Під час спалювання твердого палива за технологіями киплячого шару подача сорбенту разом з паливом забезпечує ефективне зв'язування сірки в топці енергетичної установки. За

відсутності даних для енергетичної установки про ефективність зв'язування сірки в топковому просторі значення η_I для різних технологій спалювання палива приймаються згідно з таблицею Д.2 (додаток Д).

Димові гази можуть бути очищені від оксидів сірки в сіркоочисних установках шляхом застосування технологій десульфуризації димових газів з різною ефективністю очищення η_{II} . Коефіцієнт роботи сіркоочисної установки β визначається як відношення часу роботи сіркоочисної установки до часу роботи енергетичної установки. Для розрахунків необхідно використовувати значення η_{II} , одержане під час останнього випробування сіркоочисної установки, і значення β , одержане при аналізі даних про роботу очисної та енергетичної установок у цілому. За відсутності таких даних значення ефективності сіркоочищення димових газів та коефіцієнта роботи сіркоочисної установки за різними технологіями десульфуризації приймаються згідно з таблицею Д.3 (додаток Д).

До установок десульфуризації димових газів відносяться і деякі види золоуловлювальних установок. Для електростатичних фільтрів та циклонів ефективність уловлення оксидів сірки η_{II} є незначною і дорівнює нулю. Для мокрих золоуловлювальних установок (мокрих скрубєрів типу МС та МВ) величина η_{II} залежить від загальної лужності води на зрошення та від вмісту сірки в паливі S' . Приведений вміст сірки визначається як відношення масового вмісту сірки на робочу масу палива до нижчої робочої теплоти згоряння палива ($S' = S''/Q_i'$). Дані про ефективність уловлення оксидів сірки в мокрих скрубєрах наведено в таблиці Д.4 (додаток Д).

2.3 Оксиди азоту NO_x

Під час спалювання органічного палива утворюються оксиди азоту NO_x (оксид азоту NO та діоксид азоту NO_2), викиди яких визначаються в перерахунку на NO_2 .

Показник емісії оксидів азоту k_{NO_x} , г/ГДж, з урахуванням заходів скорочення викиду розраховується як

$$k_{\text{NO}_x} = (k_{\text{NO}_x})_0 f_n (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \quad (2.6)$$

де $(k_{\text{NO}_x})_0$ – показник емісії оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, г/ГДж;

f_n – ступінь зменшення викиду NO_x під час роботи на низькому навантаженні;

η_I – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду;

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

β – коефіцієнт роботи азотоочисної установки.

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксидів азоту може бути визначено на основі результатів випробувань енергетичної установки, документально підтверджених відповідними актами. Формулу перерахунку значення виміряної концентрації забруднювальної речовини в показник емісії приведено в додатку А.

Значення узагальненого показника емісії оксидів азоту під час спалювання органічного палива за різними технологіями без урахування заходів щодо скорочення викиду NO_x визначаються згідно з таблицею Д.5 (додаток Д).

Під час роботи енергетичної установки на низькому навантаженні зменшується температура процесу горіння палива, завдяки чому скорочується викид оксидів азоту. Ступінь зменшення викиду NO_x при цьому визначається за емпіричною формулою

$$f_n = (Q_\phi / Q_n)^z, \quad (2.7)$$

де f_n – ступінь зменшення викиду оксидів азоту під час роботи на низькому навантаженні;

Q_ϕ – фактична теплова потужність енергетичної установки, МВт;

Q_n – номінальна теплова потужність енергетичної установки, МВт;

z – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива тощо.

Якщо відома тільки продуктивність парового котла D , його теплова потужність Q визначається згідно з додатком Ж. Емпіричний коефіцієнт z визначається під час випробувань енергетичної установки. За їх відсутності значення z береться з таблиці Д.6 (додаток Д).

Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовано на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згоряння енергетичної установки. До цих заходів відносяться: використання малотоксичних пальників, ступенева подача повітря та палива, рециркуляція димових газів тощо. Значення ефективності застосування первинних заходів η_L , окремих та їх комбінацій, визначаються за результатами випробувань енергетичної установки після їх впровадження і затверджуються відповідними актами. Орієнтовні значення ефективності первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту наведено в таблиці Д.7 (додаток Д).

За неможливості досягти за допомогою первинних заходів допустимої концентрації оксидів азоту в димових газах для їх очищення від NO_x використовують азотоочисну установку. Значення ефективності η_L та коефіцієнта роботи азотоочисної установки (відношення часу роботи азотоочисної установки до часу роботи енергетичної установки) визначаються під час випробувань, а за їх відсутності – згідно з таблицею Д.8 (додаток Д).

2.4 Важкі метали

Викид важких металів та їх сполук пов'язано з наявністю в мінеральній частині палива сполук важких металів. До важких металів, сполуки яких найбільш шкідливі для навколишнього середовища, відносяться: арсен (As), кадмій (Cd), хром (Cr), мідь (Cu), ртуть (Hg), нікель (Ni), свинець (Pb), селен (Se), цинк (Zn). Під час спалювання мазуту або важкого дизельного палива до важких металів цієї групи віднесено також ванадій (V) та його сполуки. У частинках леткої золи більшість цих елементів зустрічається у вигляді оксидів і хлоридів. У газоподібних викидах можлива наявність ртуті, селену та арсену, які частково випаровуються з палива.

2.4.1 Спалювання вугілля

Під час спалювання вугілля показник емісії важкого металу $k_{в.м}$, г/ГДж, є специфічним і визначається за формулою

$$k_{в.м} = \frac{c_{в.м}}{Q_i^r} [a_{вин} f_{зб} (1 - \eta_{зв}) (1 - f_{г}) + f_{г} (1 - \eta_{гзв})], \quad (2.8)$$

- де $c_{в.м}$ – масовий вміст важкого металу у паливі, мг/кг;
 Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 $a_{вин}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи;
 $f_{зб}$ – коефіцієнт збагачення важкого металу;
 $\eta_{зв}$ – ефективність золоуловлювальної установки;
 $f_{г}$ – частка важкого металу, яка виходить у газоподібній формі;
 $\eta_{гзв}$ – ефективність уловлення газоподібної фракції важкого металу в золоуловлювальній установці.

Частка золи $a_{вин}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, залежить від технології спалювання палива (див. таблицю Д.1 додатка Д).

Масовий вміст важкого металу в паливі визначається під час проведення елементного аналізу палива, що спалюється в енергетичній установці.

За відсутності можливості вимірювання вмісту важких металів у паливі орієнтовні значення $c_{в.м}$ визначають згідно з таблицею Г.2 (додаток Г).

Коефіцієнт збагачення $f_{зб}$ характеризує властивість «збагачення» (підвищення вмісту) важкого металу в частинках золи. Вміст важких металів у різних фракціях золи різний: у дрібній фракції золи вміст їх вищий, ніж у крупній. Оскільки в золоуловлювальній установці найбільш ефективно уловлюється крупна фракція, то в атмосферне повітря викидається дрібна фракція, в якій вміст важких металів більший. Діапазон значень та рекомендовані величини $f_{зб}$ наведено в таблиці Д.9 (додаток Д).

Ці значення застосовуються у випадку відсутності даних для конкретних видів і марок твердого палива, яке спалюється в енергетичній установці.

Частка важкого металу, яка виходить з вугілля у газоподібному вигляді, f_r залежить від фізико-хімічних властивостей важкого металу. Орієнтовні значення цієї частки наведено в таблиці Д.10 (додаток Д).

Ефективність уловлювання твердих частинок золоуловлювальною установкою η_{zy} залежить від типу очисного обладнання, встановленого на енергетичній установці, наприклад електростатичного фільтра, рукавного фільтра, мокрого скрубера чи батарейного циклона.

Ефективність уловлювання газоподібних важких металів $\eta_{гзу}$ залежить від властивостей важкого металу, типу золоуловлювальної установки і наявності інших заходів очистки димових газів, таких, як сіркоочисні та азотоочисні установки. Ефективність повинна визначатися під час проведення випробувань установки. Значення ефективності уловлення газоподібної фракції важких металів $\eta_{гзу}$ в електрофільтрах наведено в табл. Д.11 (додаток Д).

2.4.2 Спалювання мазуту

Під час спалювання в енергетичній установці мазуту утворюються сполуки важких металів, які є складовими мазутної золи. Сполуки ванадію відносяться до основних складових мазутної золи. Тому кількість викиду ванадію прийнято за контрольний параметр шкідливої дії мазутної золи на довкілля.

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

$$k_v = \frac{c_v}{Q_i^r} (1 - \eta_{oc}) (1 - \eta_{zy(v)}), \quad (2.9)$$

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

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

η_{oc} – частка ванадію, який осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котла;

$\eta_{zy(v)}$ – ефективність уловлювання ванадію золоуловлювальною установкою.

Масовий вміст ванадію у мазуті c_v , мг/кг, визначається за результатами хімічного аналізу мазуту або розраховується за апроксимаційною формулою

$$c_v = 2222A^r, \quad (2.10)$$

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

Масовий вміст золи в мазуті A^r визначається за даними технічного аналізу палива.

Частка ванадію η_{oc} , яка осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котлів, залежить від конструктивних особливостей котлів. Її значення наведено в таблиці Д.12 (додаток Д).

Під час спільного спалювання твердого палива та мазуту в пиловугільному котлі ефективність очищення димових газів $\eta_{zy(V)}$ від мазутної золи (в перерахунку на ванадій) $\eta_{zy(V)}$ розраховується за емпіричною формулою

$$\eta_{zy(V)} = 1 - \frac{1 - \eta_{zy}}{f_V}, \quad (2.11)$$

де η_{zy} – ефективність очищення димових газів від твердих частинок згідно з 2.1;

f_V – емпіричний коефіцієнт, який враховує ефект «збагачення» ванадієм золи, яка виходить після золоуловлювальної установки, і залежить від типу золоуловлювальної установки (таблиця Д.13 додатка Д).

Ефективність очищення димових газів від мазутної золи (в перерахунку на ванадій) $\eta_{zy(V)}$ в газомазутних котлах батарейними циклонами, які спеціально застосовуються для цього, визначається за емпіричною формулою (Д.1) (додаток Д).

Для розрахунку показника емісії k п'ятиоксиду ванадію V_2O_5 , г/ГДж, як забруднювальної речовини необхідно показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій помножити на відношення молекулярних мас п'ятиоксиду ванадію та ванадію:

$$k_{V_2O_5} = k_V \frac{\mu_{V_2O_5}}{2\mu_V} = k_V \frac{182}{2 \cdot 51} \cong 1,8k_V, \quad (2.12)$$

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

$\mu_{V_2O_5}$ – молекулярна маса п'ятиоксиду ванадію, яка дорівнює 182 кг/кмоль;

μ_V – молекулярна маса ванадію, яка дорівнює 51 кг/кмоль.

2.4.3 Спалювання природного газу

При спалюванні в енергетичній установці природного газу можуть виділятися в газоподібній формі в незначній кількості ртуть та її сполуки.

Показник емісії ртуті k_{Hg} , г/ГДж, є узагальненим і розраховується за формулою

$$k_{Hg} = (k_{Hg})_0 (1 - \eta_{zy}), \quad (2.13)$$

де $(k_{Hg})_0$ – показник емісії ртуті без використання золоуловлювальної установки, г/ГДж;

$\eta_{ззу}$ – ефективність уловлювання ртуті в золоуловлювальній установці (таблиця Д.11 додатка Д).

Значення $(k_{Hg})_0$ під час спалювання природного газу наведено в таблиці Д.14 (додаток Д).

2.5 Оксиди вуглецю CO і CO₂

Утворення оксиду вуглецю CO є результатом неповного згоряння вуглецю органічного палива. Зі зменшенням потужності енергетичної установки концентрація CO в димових газах зростає. Основним методом визначення викидів оксиду вуглецю є вимірювання його концентрації.

За відсутності постійних вимірювань концентрації CO валовий викид оксиду вуглецю визначається за формулою (2.1).

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксиду вуглецю може бути визначено на основі результатів випробувань енергетичної установки, документально підтверджених відповідними актами. Формулу перерахунку значення виміряної концентрації забруднювальної речовини в показник емісії приведено в додатку А.

Значення узагальненого показника емісії оксиду вуглецю залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання визначаються з таблиці Е.1 (додаток Е).

Діоксид вуглецю (вуглекислий газ CO₂) відноситься до парникових газів і є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного палива. Обсяг викиду CO₂ безпосередньо пов'язано із вмістом вуглецю в паливі та ступенем окислення вуглецю палива в енергетичній установці.

Показник емісії діоксиду вуглецю k_{CO_2} , г/ГДж, під час спалювання органічного палива визначається за формулою

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C = 3,67 k_C \varepsilon_C, \quad (2.14)$$

де C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

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

ε_C – ступінь окислення вуглецю палива (додаток А);

k_C – показник емісії вуглецю палива, г/ГДж.

Масовий вміст вуглецю в паливі визначається на основі елементного аналізу палива, що спалюється. Для газоподібного палива його може бути визначено, якщо відомий об'ємний вміст компонентів газоподібного палива (додаток Б). За відсутності даних про паливо, яке спалюється, необхідно користуватись даними додатка Г.

Специфічний показник емісії вуглецю k_C , г/ГДж, – це відношення вмісту вуглецю палива до його теплоти згоряння:

$$k_C = \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r}, \quad (2.15)$$

де C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг.

За відсутності даних про вміст вуглецю в паливі та його теплоту згоряння необхідно користуватись узагальненим показником емісії вуглецю, наведеним у таблиці Е.2 (додаток Е).

Під час спалювання органічного палива в енергетичній установці може утворюватись монооксид вуглецю, але в атмосфері він неодмінно перетвориться в діоксид вуглецю. Тому під час розрахунку показника емісії CO_2 вважають, що весь вуглець палива, який згорів, перетворюється у вуглекислий газ.

2.6 Оксид діазоту N_2O і метан

Оксид діазоту N_2O відноситься до парникових газів. За відсутності постійних вимірювань концентрації N_2O валовий викид оксиду діазоту визначається за формулою (2.1). Значення узагальненого показника емісії N_2O залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання наведено в таблиці Е.3 (додаток Е).

Метан CH_4 також відноситься до парникових газів. Утворення метану під час спалювання органічного палива в енергетичних установках дуже незначне. Воно пов'язане з неповним згорянням органічного палива і зменшується з підвищенням температури згоряння та масштабу енергетичної установки. За відсутності прямих вимірювань валовий викид метану визначається за формулою (2.1). Значення узагальненого показника емісії метану залежно від виду палива наведено в таблиці Е.4 (додаток Е).

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРУ ВІД ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Приклад виконання розрахунків:

Розглядається енергоблок з котлом, призначеним для факельного спалювання вугілля з високим вмістом летких, типу газового або довгополуменового, з рідким шлаковидаленням. Номінальна паропродуктивність котла енергоблока становить 950 т/год, а середня фактична паропродуктивність – 760 т/год. На ньому застосовується ступенева подача повітря та рециркуляція димових газів. Пароперегрівачі котла очищуються при зупинці блока. Для уловлювання твердих частинок використовується електростатичний фільтр типу ЕГА з ефективністю зловловлення 0,985. Установки для очищення димових газів від оксидів азоту та сірки відсутні. За звітний період використовувалось таке паливо:

- донецьке газове вугілля марки ГР – 1 096 363 т;

- високосірчистий мазут марки 40 – 70 945 т;
- природний газ із газопроводу Уренгой-Ужгород – 84 762 тис. м³.

За даними елементного та технічного аналізу склад робочої маси вугілля такий, %:

вуглець (C ^r)	–	52,49;
водень (H ^r)	–	3,50;
кисень (O ^r)	–	4,99;
азот (N ^r)	–	0,97;
сірка (S ^r)	–	2,85;
зола (A ^r)	–	25,20;
волога (W ^r)	–	10,00;
леткі речовини (V ^r)	–	25,92.

Нижча теплота згоряння робочої маси вугілля становить 20,47 МДж/кг. Технічний аналіз уловленої золи та шлаку показав, що масовий вміст горючих речовин у леткій золі $\Gamma_{\text{вин}}$ дорівнює 1,5 %, а в шлаці $\Gamma_{\text{шл}}$ – 0,5 %.

За даними таблиці Г.3 (додаток Г) склад горючої маси мазуту, %:

вуглець	–	85,50;
водень	–	11,20;
кисень та азот	–	0,80;
сірка	–	2,50.

Нижча теплота згоряння горючої маси мазуту дорівнює 40,40 МДж/кг, вологість робочої маси палива – 2,00 %, зольність сухої маси – 0,15 %, вміст ванадію (V) – 333,3 мг/кг ($= 2222 \times 0,15$).

За даними таблиці Г.4 (додаток Г) об'ємний склад сухої маси природного газу становить, %:

метан (CH ₄)	–	98,90;
етан (C ₂ H ₆)	–	0,12;
пропан (C ₃ H ₈)	–	0,011;
бутан (C ₄ H ₁₀)	–	0,01;
вуглекислий газ (CO ₂)	–	0,06;
азот (N ₂)	–	0,90.

Об'ємна нижча теплота згоряння газу дорівнює 33,08 МДж/м³, густина – 0,723 кг/м³ при нормальних умовах.

Перерахована теплова потужність при номінальній паропроодуктивності 950 т/год становить $950/1,35 = 704$ МВт (додаток Ж) при середній фактичній паропроодуктивності 760 т/год – $760/1,35 = 563$ МВт.

3.1 Викиди під час спалювання вугілля

При використанні вугілля потрібно розраховувати викиди оксидів азоту, сірки і вуглецю, твердих частинок та важких металів, а також N₂O та CH₄.

Валовий викид оксидів азоту

Узагальнений показник емісії оксидів азоту k_{NO_x} розраховується за формулою (2.6):

$$k_{\text{NO}_x} = (k_{\text{NO}_x})_0 f_n (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \text{ г/ГДж.}$$

Показник емісії оксидів азоту кам'яного вугілля без урахування заходів зі зменшення викидів $(k_{\text{NO}_x})_0$ становить 250 г/ГДж (таблиця Д.5 додатка Д). Як видно з таблиці Д.6 (додаток Д), відповідний емпіричний коефіцієнт для розрахунку ступеня зниження викиду NO_x під час роботи на низькому навантаженні $z = 1,15$. Відповідно до початкових даних та згідно з таблицею Д.7 додатка Д ефективність первинних заходів зі зменшення викиду оксидів азоту η_I становить 0,40. Азотоочисної установки на енергетичній установці немає, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{NO_x} оксидів азоту

$$k_{\text{NO}_x} = 250 \cdot (563 / 704)^{1,15} \cdot (1 - 0,40) = 116 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид

$$E_{\text{NO}_x} = 10^{-6} k_{\text{NO}_x} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 116 \cdot 20,47 \cdot 1\,096\,363 = 2604 \text{ т.}$$

Валовий викид сірчистого ангідриду

Показник емісії оксидів сірки (у перерахунку на діоксид сірки SO_2), які надходять у атмосферу з димовими газами за проміжок часу P , є специфічним і розраховується за формулою (2.5):

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \text{ г/ГДж.}$$

Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом у енергетичній установці η_I (таблиця Д.2 додатка Д) становить 0,05. Сірчоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{SO_2} оксиду сірки

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{20,47} \cdot \frac{2 \cdot 2,85}{100} (1 - 0,05) = 2646 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид

$$E_{\text{SO}_2} = 10^{-6} k_{\text{SO}_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 2646 \cdot 20,47 \cdot 1\,096\,363 = 59393 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними таблиці Е.1 додатка Е показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 11,4 г/ГДж. Тоді за формулою (2.1) валовий викид оксиду вуглецю E_{CO}

$$E_{CO} = 10^{-6} k_{CO} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 11,4 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 256 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу при спалюванні органічного палива визначається за формулою (2.14)

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C, \text{ г/ГДж.}$$

У цьому прикладі при рідкому шлаковидаленні частка золи, яка видаляється у вигляді леткої золи $a_{вин}$ становить 0,8 (таблиця Д.1 додатка Д). У котлі відбувається неповне згоряння палива, у першу чергу через механічний недопал. Ступінь окислення вуглецю для робочої маси палива ε_C в енергетичній установці розраховується за формулою (А.2):

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left(a_{вин} \frac{\Gamma_{вин}}{100 - \Gamma_{вин}} + (1 - a_{вин}) \frac{\Gamma_{шл}}{100 - \Gamma_{шл}} \right),$$
$$\varepsilon_C = 1 - \frac{25,20}{52,49} \left(0,80 \frac{1,50}{100 - 1,50} + (1 - 0,80) \frac{0,50}{100 - 0,50} \right) = 0,994.$$

Показник емісії вуглекислого газу

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{52,49}{100} \cdot \frac{10^6}{20,47} \cdot 0,994 = 93409 \text{ г/ГДж}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид

$$E_{CO_2} = 10^{-6} k_{CO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 93409 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 2096657 \text{ т.}$$

Валовий викид твердих частинок

Показник емісії твердих частинок визначається як специфічний і розраховується за формулою (2.2):

$$k_{ТВ} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{вин} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{вин}} (1 - \eta_{зу}) + k_{ТВС}.$$

Сірководоксидна установка відсутня, тому викиду твердих частинок сорбенту та продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки немає. Ефективність золоуловлювальної установки $\eta_{\text{зу}}$ за даними останніх випробувань становить 0,985. Показник емісії твердих частинок

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{20,47} \cdot 0,8 \cdot \frac{25,20}{100 - 1,5} (1 - 0,985) = 150 \text{ г/ГДж.}$$

За формулою (2.1) валовий викид

$$E_{\text{ТВ}} = 10^{-6} k_{\text{ТВ}} Q_i^{\text{Г}} B = 10^{-6} \cdot 150 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 3366 \text{ т.}$$

Валовий викид важких металів

За даними таблиці Г.2 додатка Г вміст важких металів у робочій масі вугілля становить, мг/кг:

свинець (Pb) – 14;

ртуть (Hg) – 0,14;

хром (Cr) – 47;

нікель (Ni) – 26;

мідь (Cu) – 29;

цинк (Zn) – 40;

арсен (As) – 20.

При спалюванні вугілля показник емісії важкого металу визначається за формулою (2.8):

$$k_{\text{ВМ}} = \frac{C_{\text{ВМ}}}{Q_i^{\text{Г}}} \left[a_{\text{ВМ}} f_{\text{ЗБ}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_{\text{Г}}) + f_{\text{Г}} (1 - \eta_{\text{Гзу}}) \right], \text{ г/ГДж.}$$

З наявних у вугіллі важких металів ртуть і арсен частково виходять з палива в газоподібному вигляді. За даними таблиці Д.9 додатка Д ця частка становить 0,9 (для Hg) і 0,005 (для As). Для решти важких металів вона дорівнює нулю. Ефективність уловлювання в золоуловлювальній установці газоподібної ртуті $\eta_{\text{зу}}$ дорівнює 0,35 (таблиця Д.13 додатка Д). За даними таблиці Д.9 (додаток Д) при ефективності золоуловлювача 0,985 коефіцієнт збагачення важких металів становить: арсен – 5,07, хром – 1,0, мідь – 2,06, ртуть – 1,0, нікель – 2,85, свинець – 5,00, цинк – 5,93. Результати розрахунків зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розраховані значення викидів важких металів

Важкий метал	As	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Показник емісії, г/ГДж	0,075	0,027	0,044	0,004	0,043	0,041	174
Валовий викид, т	1,723	0,619	0,991	0,090	0,974	0,928	3,913

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O під час спалювання вугілля розраховується за даними таблиці Е.3 (додаток Е) та формулою (2.1):

$$E_{N_2O} = 10^{-6} k_{N_2O} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1,4 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 31,4 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання вугілля розраховується за даними таблиці Е.4 (додаток Е) та формулою (2.1):

$$E_{CH_4} = 10^{-6} k_{CH_4} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 22,4 \text{ т.}$$

3.2 Викиди під час спалювання мазуту

При використанні мазуту потрібно розрахувати викиди оксидів азоту, сірки і вуглецю, твердих частинок і мазутної золи (у перерахунку на ванадій або п'ятиоксид ванадію), а також N_2O та CH_4 .

Перерахунок характеристик мазуту

Для перерахунку складу палива на робочу масу застосовуються множники згідно з таблицею В.1 (додаток В). Склад робочої маси мазуту такий:

вуглець – $85,50 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 83,66 \%$;
водень – $11,20 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 10,96 \%$;
кисень та азот – $0,80 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 0,78 \%$;
сірка – $2,50 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 2,45 \%$;
зола – $0,15 \cdot (100 - 2,0)/100 = 0,15 \%$;
ванадій (V) – $333,3 \cdot (100 - 2,0)/100 = 327,4 \text{ мг/кг.}$

Згідно з таблицею В.2 (додаток В) нижча теплота згоряння з горючої маси Q_i^{daf} на робочу Q_i^r (Дж/кг) перераховується за формулою

$$Q_i^r = Q_i^{daf} \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 0,025 W^r = 40,40 \frac{100 - 2,0 - 0,147}{100} - 0,025 \cdot 2,0 = 39,48$$

Валовий викид оксидів азоту

Показник емісії оксидів азоту $(k_{NOx})_0$ без урахування первинних заходів згідно з даними таблиці Д.5 (додаток Д) дорівнює 200 г/ГДж.

Відповідно до початкових даних і згідно з таблицею Д.5 (додаток Д) ефективність первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту η_I становить 0,40. Емпіричний коефіцієнт z дорівнює 1,25 (таблиця Д.6 додатка Д). Азотоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{NOx} оксидів азоту

$$k_{\text{NOx}} = 200(563/704)^{1,25}(1 - 0,40)(1 - 0) = 90,8 \text{ г/ГДж.}$$

Валовий викид оксидів азоту E_{NOx} за звітний період дорівнює

$$E_{\text{NOx}} = 10^{-6} k_{\text{NOx}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 90,8 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 254 \text{ т.}$$

Викид сірчистого ангідриду

Показник емісії оксидів сірки (у перерахунку на діоксид сірки SO_2), які надходять в атмосферу з димовими газами за проміжок часу P , є специфічним і розраховується за формулою (2.5):

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta) \text{ г/ГДж.}$$

Ефективність зв'язування оксидів сірки η_I за даними таблиці Д.2 (додаток Д) становить 0,05, а ефективність уловлювання оксидів сірки разом з твердими частинками в золоуловлювальній установці дорівнює нулю. Сіркоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії E_{SO_2} оксиду сірки

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{39,48} \frac{2 \cdot 2,45}{100} (1 - 0,05) = 1176 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид

$$E_{\text{SO}_2} = 10^{-6} k_{\text{SO}_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1176 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 3297 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними таблиці Е.1 (додаток Е) показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 15 г/ГДж. Тоді за формулою (2.1) валовий викид E_{CO} оксиду вуглецю

$$E_{\text{CO}} = 10^{-6} k_{\text{CO}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 15 \cdot 39,54 \cdot 70945 = 42,1 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу під час спалювання органічного палива визначається за формулою (2.13):

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C, \text{ г/ГДж.}$$

Ступінь окислення вуглецю ε_C під час спалювання мазуту в енергетичній установці за даними додатка А становить 0,99. Показник емісії вуглекислого газу

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{83,66}{100} \cdot \frac{10^6}{39,48} \cdot 0,99 = 76918 \text{ г/ГДж.}$$

За формулою (2.1) валовий викид

$$E_{CO_2} = 10^{-6} k_{CO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 76918 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 215455 \text{ т.}$$

Валовий викид твердих частинок

Показник емісії твердих частинок визначається як специфічний і розраховується за формулою (2.2):

$$k_{TB} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{вин} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{вин}} (1 - \eta_{зу}) + k_{TBС} \text{ г/ГДж.}$$

Сірководобна установка відсутня, тому викиду твердих частинок сорбенту та продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки немає. Масовий вміст горючих речовин у викиді твердих частинок $\Gamma_{вин}$ становить 0 %. Ефективність золоуловлювальної установки $\eta_{зу}$, за даними останніх випробувань, становить 0,985. Показник емісії твердих частинок

$$k_{TB} = \frac{10^6}{39,48} \cdot 1 \cdot \frac{0,15}{100 - 0} (1 - 0,985) = 0,57 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид

$$E_{TB} = 10^{-6} k_{TB} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 1,60 \text{ т.}$$

Валовий викид ванадію

Показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій розраховується за формулою (2.8):

$$k_V = \frac{c_V}{Q_i^r} (1 - \eta_{oc}) (1 - \eta_{зу(V)}) \text{ г/ГДж.}$$

Частка ванадію η_{oc} , який осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву, для котла з проміжними пароперегрівачами, очищення поверхонь яких провадиться під час зупинки, становить 0,07. Емпіричний коефіцієнт f_V для електростатичних фільтрів становить 0,6 (додаток Д). Ефективність

уловлювання ванадію електрофільтром під час спільного спалювання вугілля та мазуту

$$\eta_{\text{zy}}(V) = 1 - \frac{1 - \eta_{\text{zy}}}{f_V} = 1 - \frac{1 - 0,985}{0,6} = 0,975.$$

Показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій

$$k_V = \frac{327,4}{39,48} (1 - 0,07)(1 - 0,975) = 0,19 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид ванадію

$$E_V = 10^{-6} k_e Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,19 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 0,53 \text{ т.}$$

Показник емісії п'ятиоксиду ванадію за формулою (2.12)

$$k_{V_2O_5} = 1,8k_V = 1,8 \cdot 0,19 = 0,34 \text{ г/ГДж.}$$

За формулою (2.1) валовий викид п'ятиоксиду ванадію

$$E_{V_2O_5} = 10^{-6} k_e Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,34 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 0,95 \text{ т.}$$

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O під час спалювання мазуту розраховується за даними таблиці Е.3 (додаток Е) та формулою (2.1):

$$E_{N_2O} = 10^{-6} k_{N_2O} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,6 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 1,68 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання мазуту розраховується за даними таблиці Е.4 (додаток Е) та формулою (2.1):

$$E_{CH_4} = 10^{-6} k_{CH_4} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 3,0 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 8,41 \text{ т.}$$

3.3 Викиди під час спалювання природного газу

При використанні природного газу потрібно розраховувати викиди оксидів азоту, сірки і вуглецю, оксиду діазоту та метану.

Перерахунок характеристик природного газу, кг/нм³

Питома маса кожного індивідуального газу в сухому паливі визначається за формулами, наведеними в додатку Б.

$$\begin{aligned}
m_{\text{CH}_4} &= 0,716 \cdot 0,01(\text{CH}_4)_v = 0,716 \cdot 0,01 \cdot 98,90 = 0,7081 \\
m_{\text{C}_2\text{H}_6} &= 1,342 \cdot 0,01(\text{C}_2\text{H}_6)_v = 1,342 \cdot 0,01 \cdot 0,12 = 0,0016, \\
m_{\text{C}_3\text{H}_8} &= 1,967 \cdot 0,01(\text{C}_3\text{H}_8)_v = 1,967 \cdot 0,01 \cdot 0,011 = 0,0002, \\
m_{\text{C}_4\text{H}_{10}} &= 2,593 \cdot 0,01(\text{C}_4\text{H}_{10})_v = 2,593 \cdot 0,01 \cdot 0,01 = 0,0003, \\
m_{\text{N}_2} &= 1,250 \cdot 0,01(\text{N}_2)_v = 1,250 \cdot 0,01 \cdot 0,90 = 0,0113, \\
m_{\text{CO}_2} &= 1,964 \cdot 0,01(\text{CO}_2)_v = 1,964 \cdot 0,01 \cdot 0,06 = 0,0012,
\end{aligned}$$

де m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм³ сухого газоподібного палива, кг/нм³;

$(i)_v$ – об’ємний вміст i -го індивідуального газу, %.

Масовий елементний склад сухого газоподібного палива визначається за формулами

$$\begin{aligned}
C^{\text{daf}} &= \frac{100}{\rho_{\text{п}}} \left(\sum \frac{12p}{12p + q} m_{\text{C}_p\text{H}_q} + 0,429m_{\text{CO}} + 0,273m_{\text{CO}_2} \right), \\
C^{\text{daf}} &= \frac{100}{0,723} (0,749 \cdot 0,7081 + 0,799 \cdot 0,0016 + 0,817 \cdot 0,0002 + \\
&+ 0,827 \cdot 0,0003 + 0,273 \cdot 0,0012) = 73,67, \\
H^{\text{daf}} &= \frac{100}{\rho_{\text{п}}} \left(\sum \frac{q}{12p + q} m_{\text{C}_p\text{H}_q} + 0,059m_{\text{H}_2\text{S}} \right), \\
H^{\text{daf}} &= \frac{100}{0,723} (0,251 \cdot 0,7081 + 0,201 \cdot 0,0016 + 0,183 \cdot 0,0002 + \\
&+ 0,173 \cdot 0,0003) = 24,65, \\
N^{\text{daf}} &= \frac{100}{\rho_{\text{п}}} m_{\text{N}_2} = \frac{100}{0,723} 0,0113 = 1,56, \\
O^{\text{daf}} &= \frac{100}{\rho_{\text{п}}} (0,571m_{\text{CO}} + 0,727m_{\text{CO}_2}) = \frac{100}{0,723} 0,727 \cdot 0,0012 = 0,12,
\end{aligned}$$

де C^{daf} – масовий вміст вуглецю в паливі на горючу масу, %;

H^{daf} – масовий вміст водню в паливі на горючу масу, %;

N^{daf} – масовий вміст азоту в паливі на горючу масу, %;

O^{daf} – масовий вміст кисню в паливі на горючу масу, %;

$\rho_{\text{п}}$ – густина сухого газоподібного палива, кг/нм³.

Таким чином, отримано значення, % масового елементного складу природного газу:

вуглець – $C^r = C^{\text{daf}} = 73,67$;

водень – $H^r = H^{\text{daf}} = 24,65$;

кисень – $O^r = O^{\text{daf}} = 0,12$;

азот – $N^r = N^{\text{daf}} = 1,56$.

Масова нижча теплота згоряння Q_i^r

$$Q_i^r = Q_i^{\text{daf}} = Q_{\text{iv}}^{\text{daf}} / \rho_{\text{п}} = 33,08 / 0,723 = 45,75 \text{ МДж/кг.}$$

Масова витрата природного газу

$$B = B_v \cdot \rho_{\text{п}} = 84\,762 \cdot 10^3 \cdot 0,723 = 61\,252 \text{ т.}$$

Валовий викид оксидів азоту

Показник емісії оксидів азоту $(k_{\text{NOx}})_0$ без урахування первинних заходів згідно з даними таблиці Д.5 (додаток Д) дорівнює 150 г/ГДж. У таблиці Д.6 (додаток Д) емпіричний коефіцієнт z для природного газу становить 1,25. Відповідно до вихідних даних та згідно з таблицею Д.7 (додаток Д) ефективність первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту η_I становить 0,40. Азотоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{NOx} оксидів азоту

$$k_{\text{NOx}} = 150 \cdot (563/704)^{1,25} (1 - 0,40) = 68,1 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид

$$E_{\text{NOx}} = 10^{-6} k_{\text{NOx}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 68,1 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 191 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними таблиці Е.1 (додаток Е) показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 17 г/ГДж. Валовий викид оксиду вуглецю E_{CO}

$$E_{\text{CO}} = 10^{-6} k_{\text{CO}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 17 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 48 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу під час спалювання органічного палива визначається за формулою (2.14):

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C \text{ г/ГДж.}$$

Ступінь окислення вуглецю ε_C під час спалювання природного газу в енергетичній установці за даними додатку А становить 0,995. Показник емісії вуглекислого газу

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{73,67}{100} \cdot \frac{10^6}{45,78} \cdot 0,995 = 58716 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (2.1) валовий викид

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} k_e Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 58716 \cdot 45,78 \cdot 61252 = 164635 \text{ т.}$$

Валовий викид ртуті

Валовий викид ртуті під час спалювання природного газу розраховується за даними таблиці Д.12 (додаток Д) та формулою (2.1):

$$E_{\text{Hg}} = 10^{-6} k_{\text{Hg}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,0001 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 0,00028 \text{ т.}$$

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O при спалюванні природного газу розраховується за даними таблиці Е.3 та формулою (2.1):

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-6} k_{\text{N}_2\text{O}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 0,28 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання природного газу розраховується за даними таблиці Е.4 (додаток Е) та формулою (2.1):

$$E_{\text{CH}_4} = 10^{-6} k_{\text{CH}_4} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 2,80 \text{ т.}$$

В таблиці 3.2 наведено значення викидів всього розглянутого спектру забруднювальних речовин щодо кожного палива та загалом.

Таблиця 3.2 – Валові викиди забруднювальних речовин, т

Викид	Вугілля	Мазут	Природний газ	Всього
1	2	3	4	5
SO_2	59 393	3 297	0	62 690
NO_x	2 604	254	191	3 049
CO	256	42	48	346
CO_2	2 096 657	215 455	164 635	2 476 747
Тверді частинки	3366	1,60	0	3367,6
Pb	0,921	0	0	0,921
Hg	0,090	0	0,00028	0,09028
Cr	0,619	0	0	0,619
Ni	0,974	0	0	0,974
Cu	0,991	0	0	0,991
Zn	3,913	0	0	3,913
As	1,723	0	0	1,723
V_2O_5	0	0,95	0	0,95
N_2O	31,40	1,68	0,28	33,36
CH_4	22,40	8,42	2,80	33,62

ВИСНОВКИ повинні включати обґрунтовано викладені результати проведеної роботи згідно поставлених завдань. У кінці розміщується таблиця з результатами розрахунків валових викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичної установки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ розміщують на окремому аркуші. Бібліографічні описи у списку джерел розміщують у порядку появи посилань у тексті. Пишуть порядковий номер джерела, прізвище, ініціали автора, назву книги, місто видання (скорочено), назву видавництва, рік видання, кількість сторінок.

ДОДАТКИ розміщуються в кінці роботи. Позначаються прописними буквами А, Б, В, Г, Д, Е. Сторінки додатків не нумеруються і до загальної кількості сторінок роботи не враховуються.

Додаток А – Визначення об'єму сухих димових газів

Питомий об'єм сухих димових газів, які утворюються під час повного згоряння палива, визначається на підставі даних про масовий елементний склад робочої маси палива та витрати повітря для його спалювання відповідно до стехіометричних співвідношень між паливом та повітрям. Для газоподібного палива перерахунок об'ємного вмісту його компонентів (індивідуальних газів) у масовий вміст хімічних елементів горючої маси наведено у додатку Б. Формули перерахунку характеристик палива з робочої маси палива на суху та горючу (суху беззольну) і навпаки наведено у додатку В. За відсутності інформації про елементний склад палива можна використовувати дані додатка Г або відповідну довідкову літературу.

Під час спалювання палива можливе його неповне згоряння, у першу чергу механічний недопал, внаслідок чого до викидів твердих частинок та шлаку потрапляють горючі речовини, головним чином вуглець.

Масовий вміст вуглецю $C^{взг}$, який згоряє, % на робочу масу, виражається через масовий вміст вуглецю в паливі C^r за формулою

$$C^{взг} = \varepsilon_C C^r, \quad (A.1)$$

де ε_C – ступінь окислення вуглецю палива;

C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %.

Ефективність процесу горіння визначає ступінь окислення вуглецю палива ε_C . При повному згорянні палива ступінь окислення дорівнює одиниці, але за наявності недогоряння палива його значення зменшується. Ступінь окислення вуглецю палива ε_C в енергетичній установці розраховується за формулою

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left(a_{вин} \frac{\Gamma_{вин}}{100 - \Gamma_{вин}} + (1 - a_{вин}) \frac{\Gamma_{шл}}{100 - \Gamma_{шл}} \right), \quad (A.2)$$

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

- C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;
 $a_{\text{вин}}$ – частка золи, яка видаляється у вигляді леткої золи;
 $G_{\text{вин}}$ – масовий вміст горючих речовин у виносі твердих частинок, %;
 $G_{\text{шл}}$ – масовий вміст горючих речовин у шлаку, %.

Для природного газу рекомендоване значення ε_c становить 0,995, для мазуту – 0,99.

Вміст золи A^r в паливі та горючих речовин у шлаку $G_{\text{шл}}$ і викидах твердих частинок $G_{\text{вин}}$ визначається технічним аналізом палива (ГОСТ 27313-95), а також шлаку та твердих частинок, які виходять з енергетичної установки. Частка золи $a_{\text{вин}}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, залежить від технології спалювання палива. Вона визначається для енергетичної установки за паспортними даними та при проведенні її випробувань. За відсутності такої інформації значення $a_{\text{вин}}$ визначаються за даними таблиці Д.1 (додаток Д).

Під час спалювання 1 кг робочої маси палива з урахуванням механічного недопалювання питомий об'єм сухих димових газів $v_{\text{дг}}^0$, $\text{нм}^3/\text{кг}$ (за відсутності в них кисню) визначається за формулою.

$$v_{\text{дг}}^0 = 0,01(1,866C^{\text{взг}} + 0,7S^r + 0,8N^r) + v_{N_2\text{пов}}, \quad (\text{A.3})$$

- де $C^{\text{взг}}$ – масовий вміст вуглецю палива, що згорів, на робочу масу, %;
 S^r – масовий вміст сірки в паливі на робочу масу, %;
 N^r – масовий вміст азоту в паливі на робочу масу, %;
 $v_{N_2\text{пов}}$ – питомий об'єм азоту повітря, необхідного для горіння палива, $\text{нм}^3/\text{кг}$.

Питомий об'єм азоту $v_{N_2\text{пов}}$, $\text{нм}^3/\text{кг}$, в повітрі, яке необхідне для спалювання палива, визначається за формулою

$$v_{N_2\text{пов}} = 3,762v_{O_2}, \quad (\text{A.4})$$

де v_{O_2} – питомий об'єм кисню, необхідного для проходження стехіометричних реакцій окислення, $\text{нм}^3/\text{кг}$.

Питомий об'єм кисню v_{O_2} , $\text{нм}^3/\text{кг}$, необхідного для проходження стехіометричних реакцій окислення,

$$v_{O_2} = 0,01(1,866C^{\text{взг}} + 5,56H^r + 0,7S^r - 0,7O^r), \quad (\text{A.5})$$

- де $C^{\text{взг}}$ – масовий вміст вуглецю палива, що згорів, на робочу масу, %;
 H^r – масовий вміст водню в паливі на робочу масу, %;
 S^r – масовий вміст сірки в паливі на робочу масу, %;
 O^r – масовий вміст кисню в паливі на робочу масу, %.

Константи в рівняннях (A.3)-(A.5) є стереометричними множниками.

Густина сухих димових газів $\rho_{\text{дг}}^{\circ}$ визначається як відношення питомої маси сухих димових газів $m_{\text{дг}}^{\circ}$ до питомого об'єму сухих димових газів $v_{\text{дг}}^{\circ}$ (під час спалювання 1 кг робочої маси палива). Питома маса сухих димових газів $m_{\text{дг}}^{\circ}$ визначається за відсутності в них кисню та водяної пари, яка утворилася в результаті випарювання вологи палива та окислення водню.

Густина сухих димових газів $\rho_{\text{дг}}^{\circ}$, кг/нм³, визначається за формулою

$$\rho_{\text{дг}}^{\circ} = m_{\text{дг}}^{\circ} / v_{\text{дг}}^{\circ}, \quad (\text{A.6})$$

де $m_{\text{дг}}^{\circ}$ – питома маса сухих димових газів, кг/кг;

$v_{\text{дг}}^{\circ}$ – питомий об'єм сухих димових газів, нм³/кг.

Питома маса сухих димових газів $m_{\text{дг}}^{\circ}$, кг/кг, вираховується за формулою

$$m_{\text{дг}}^{\circ} = 0,01(3,664C^{\text{взг}} + 1,000N^r + 2,001S^r) + 4,702v_{\text{O}_2}, \quad (\text{A.7})$$

де $C^{\text{взг}}$ – масовий вміст вуглецю палива, що згоряє, на робочу масу, %;

N^r – масовий вміст азоту в паливі на робочу масу, %;

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

v_{O_2} – питомий об'єм кисню, необхідного для проходження стехіометричних реакцій окислення, нм³/кг.

Одержане значення $v_{\text{дг}}^{\circ}$ за відсутності кисню в димових газах (коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1$) може бути приведене до стандартного вмісту кисню в димових газах, наприклад, до 6 %, за допомогою рівняння

$$v_{\text{дг}} = v_{\text{дг}}^{\circ} \frac{21}{21 - \text{O}_{2\text{ст}}} = v_{\text{дг}}^{\circ} \frac{21}{21 - 6} = 1,4v_{\text{дг}}^{\circ}, \quad (\text{A.8})$$

де $v_{\text{дг}}$ – питомий об'єм сухих димових газів, приведений до стандартного вмісту кисню в димових газах, нм³/кг;

$v_{\text{дг}}^{\circ}$ – питомий об'єм сухих димових газів при $\text{O}_2 = 0$ %, нм³/кг;

$\text{O}_{2\text{ст}}$ – стандартний об'ємний вміст кисню в сухих димових газах, %.

Перерахунок значення вимірної концентрації в показник емісії j -ї забруднювальної речовини для конкретного джерела викиду здійснюється за формулою

$$k_j = c'_j v_{\text{дг}} / Q_i^r, \quad (\text{A.9})$$

де k_j – показник емісії j -ї забруднювальної речовини, г/ГДж;

- c'_j – виміряна масова концентрація j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах, приведена до нормальних умов та стандартного вмісту кисню, мг/нм³;
- $V_{\text{дг}}$ – питомий об'єм сухих димових газів, приведений до стандартного вмісту кисню, нм³/кг;
- Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг.

Додаток Б – Перерахунок характеристик газоподібного палива

Для газоподібного палива, як правило, відомі його об'ємні характеристики:

- склад – метан (CH₄), етан (C₂H₆), пропан (C₃H₈), бутан (C₄H₁₀), пентан (C₅H₁₂) та більш важкі вуглеводні, азот (N₂), сірководень (H₂S), оксид (CO) і діоксид (CO₂) вуглецю;
- теплота згоряння;
- об'ємна витрата;
- об'єм використаного палива за певний проміжок часу.

У методиці та додатку А для визначення величин викидів та питомого об'єму використовуються масові характеристики палива – масовий елементний склад, масова теплота згоряння, маса використаного палива. Тому для газоподібного палива об'ємні характеристики необхідно перерахувати в масові.

Питома маса кожного індивідуального газу в сухому стані газоподібного палива визначається за формулами:

$$m_{\text{CH}_4} = 0,716 \cdot 0,01(\text{CH}_4)_v, \quad (\text{Б.1})$$

$$m_{\text{C}_2\text{H}_6} = 1,342 \cdot 0,01(\text{C}_2\text{H}_6)_v, \quad (\text{Б.2})$$

$$m_{\text{C}_3\text{H}_8} = 1,967 \cdot 0,01(\text{C}_3\text{H}_8)_v, \quad (\text{Б.3})$$

$$m_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = 2,593 \cdot 0,01(\text{C}_4\text{H}_{10})_v, \quad (\text{Б.4})$$

$$m_{\text{C}_5\text{H}_{12}} = 3,219 \cdot 0,01(\text{C}_5\text{H}_{12})_v, \quad (\text{Б.5})$$

$$m_{\text{C}_6\text{H}_6} = 3,492 \cdot 0,01(\text{C}_6\text{H}_6)_v, \quad (\text{Б.6})$$

$$m_{\text{N}_2} = 1,250 \cdot 0,01(\text{N}_2)_v, \quad (\text{Б.7})$$

$$m_{\text{H}_2\text{S}} = 1,521 \cdot 0,01(\text{H}_2\text{S})_v, \quad (\text{Б.8})$$

$$m_{\text{CO}} = 1,250 \cdot 0,01(\text{CO})_v, \quad (\text{Б.9})$$

$$m_{\text{CO}_2} = 1,964 \cdot 0,01(\text{CO}_2)_v, \quad (\text{Б.10})$$

де m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм³ сухого палива, кг/нм³;

$(i)_v$ – об'ємний вміст i -го індивідуального газу, %.

Густина сухого газоподібного палива ρ_n , кг/нм³, при нормальних умовах визначається як сума питомих мас індивідуальних газів, що входять до складу палива,

$$\rho_n = \sum m_{C_p H_q} + m_{N_2} + m_{H_2S} + m_{CO} + m_{CO_2}, \quad (Б.11)$$

де m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм^3 сухого палива при нормальних умовах, кг/нм^3 ;

$m_{C_p H_q}$ – питома маса вуглеводню $C_p H_q$, який складається з p атомів вуглецю та q атомів водню при нормальних умовах, кг/нм^3 .

Масовий елементний склад сухого газоподібного палива визначається за формулами:

$$C^{daf} = \frac{100}{\rho_n} \left(\sum \frac{12p}{12p+q} m_{C_p H_q} + 0,429 m_{CO} + 0,273 m_{CO_2} \right), \quad (Б.12)$$

$$H^{daf} = \frac{100}{\rho_n} \left(\sum \frac{q}{12p+q} m_{C_p H_q} + 0,059 m_{H_2S} \right), \quad (Б.13)$$

$$N^{daf} = \frac{100}{\rho_n} m_{N_2}, \quad (Б.14)$$

$$S^{daf} = \frac{100}{\rho_n} (0,941 m_{H_2S}), \quad (Б.15)$$

$$O^{daf} = \frac{100}{\rho_n} (0,571 m_{CO} + 0,727 m_{CO_2}), \quad (Б.16)$$

де C^{daf} – масовий вміст вуглецю в паливі на горючу масу, %;

H^{daf} – масовий вміст водню в паливі на горючу масу, %;

N^{daf} – масовий вміст азоту в паливі на горючу масу, %;

S^{daf} – масовий вміст сірки в паливі на горючу масу, %;

O^{daf} – масовий вміст кисню в паливі на горючу масу, %;

ρ_n – густина сухого газоподібного палива при нормальних умовах, кг/нм^3 ;

m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм^3 сухого газоподібного палива, кг/нм^3 .

Для перерахунку об'ємної витрати газоподібного палива в масову використовують формулу

$$b = b_v \rho_n, \quad (Б.17)$$

де b – масова витрата газоподібного палива, кг/с ;

b_v – об'ємна витрата газоподібного палива при нормальних умовах, $\text{нм}^3/\text{с}$;

ρ_n – густина газоподібного палива при нормальних умовах, кг/нм^3 .

Маса використаного газоподібного палива B , т, за проміжок часу P та масова теплота згоряння розраховуються за формулами:

$$B = B_v \rho_n, \quad (Б.18)$$

$$Q_i^r = Q_{iv}^r / \rho_n, \quad (Б.19)$$

де B_v – об'єм використаного газоподібного палива за проміжок часу P при нормальних умовах, тис. нм^3 ;

Q_i^r – масова нижча теплота згоряння газоподібного палива, МДж/кг;

Q_{iv}^r – об'ємна нижча теплота згоряння газоподібного палива при нормальних умовах, МДж/нм³;

ρ_n – густина газоподібного палива при нормальних умовах, кг/нм³.

Додаток В – Перерахунок характеристик палива

Складові та характеристики палива можуть бути перераховані на робочу (raw), суху (dry) масу (коли в паливі відсутня волога), суху беззолну (dry ash-free) або горючу масу (коли в паливі відсутня негорюча частина – зола та волога).

У таблиці В.1 наведено множники перерахунку масового вмісту складових палива на робочу, суху або горючу масу.

Таблиця В.1 – Перерахунок масового вмісту складових палива

Маса	Початкове значення маси		
	робочої	Сухої	горючої
Робоча	1	$(100 - W^r)/100$	$(100 - W^r - A^r)/100$
Суха	$100/(100 - W^r)$	1	$(100 - A^d)/100$
Горюча	$100/(100 - W^r - A^r)$	$100/(100 - A^d)$	1

Примітка. W^r – масовий вміст води в паливі на робочу масу, %;

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

A^d – масовий вміст золи в паливі на суху масу, %.

У таблиці В.2 наведено формули перерахунку нижчої робочої теплоти згоряння палива Q_i^r в нижчу суху теплоту згоряння палива Q_i^d та нижчу горючу теплоту згоряння палива Q_i^{daf} і навпаки.

Таблиця В.2 — Перерахунок теплоти згоряння палива

Q	Початкове значення маси		
	робочої	Сухої	горючої
Q_i^r	1	$Q_i^d \frac{100 - W^r}{100} - 0,025 W^r$	$Q_i^{daf} \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 0,025 W^r$
Q_i^d	$(Q_i^r + 0,025 W^r) \frac{100}{100 - W^r}$	1	$Q_i^{daf} \frac{100 - A^d}{100}$
Q_i^{daf}	$(Q_i^r + 0,025 W^r) \frac{100}{100 - W^r - A^r}$	$Q_i^d \frac{100}{100 - A^d}$	1

Примітка. Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

Q_i^d – нижча суха теплота згоряння палива, МДж/кг;

Q_i^{daf} – нижча горюча теплота згоряння палива, МДж/кг;

W^r – масовий вміст води в паливі на робочу масу, %;

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

A^d – масовий вміст золи в паливі на суху масу, %.

При неповному окисленні вуглецю палива в енергетичній установці величина Q_i^r фактично зменшується на величину енергії палива, що не догоріло, а саме:

$$Q_i^{r*} = Q_i^r - Q_C(1 - \varepsilon_C), \quad (B.1)$$

- де Q_i^{r*} – нижча теплота згоряння палива з урахуванням механічного недопалу, МДж/кг;
 Q_i^r – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 Q_C – теплота згоряння вуглецю, МДж/кг, $Q_C = 32,657$ МДж/кг;
 ε_C – ступінь окислення вуглецю палива (формула (A.2) додатка А).

Додаток Г – Склад і характеристики різних видів органічного палива Тверде паливо

В таблиці Г.1 наведено орієнтовний елементний склад палива на горючу масу для найбільш поширених марок вугілля. Масовий елементний склад палива на робочу масу та нижча робоча теплота згоряння визначаються за даними таблиці Г.1, формулами перерахунку, наведеними у Додатку В, та даними технічного аналізу палива, зокрема, за інформацією про вміст вологи та золи у вугіллі (на робочу масу).

Таблиця Г.1 – Елементний склад вугілля (масовий вміст на горючу масу)

Вугілля	C ^{daf} , %	H ^{daf} , %	S ^{daf} , %	O ^{daf} , %	N ^{daf} , %	V ^{daf} , %	Q _i ^{daf} , МДж/кг
Антрацитовий штиб АШ	93,5	1,8	2,4	1,5	0,8	4,0	33.24
Пісне вугілля ТР	89,0	4,2	3,3	2,1	1,5	12,0	34.29
Донецьке газове ГР	81,0	5,4	4,4	7,7	1,5	40,0	31.98
Донецьке довгополуменеве ДР	75,5	5,5	4,3	13,1	1,6	43,0	30.56
Львівсько-волинське (ЛВ) ГР	79,5	5,2	3,7	10,3	1,3	39,0	31.69
Олександрійське буре Б1Р	67,5	5,8	5,9	19,9	0,9	58,5	26.96

У таблиці Г.2 наведено інформацію про орієнтовний вміст основних важких металів у робочій масі вугілля родовищ України.

Таблиця Г.2 – Вміст важких металів $c_{\text{вм}}$ у енергетичному вугіллі, мг/кг

Вугілля	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Антрацитовий штиб АШ	20	0	47	29	0.28	26	20	0	40
Донецьке пісне ТР	20	0	47	29	0.20	26	18	0	40
Донецьке ГР	20	0	47	29	0.14	26	14	0	40
Донецьке довгополуменеве ДР	20	0	47	29	0.16	26	16	0	40
Львівсько-Волинське (ЛВ) ГР	20	0	47	29	0.16	26	16	0	40
Олександрійське буре Б1Р	20	0	47	29	0.16	26	14	0	40

Мазут

У таблиці Г.3 наведено орієнтовні дані характеристик основних марок мазуту, які використовуються в енергетиці.

Таблиця Г.3 – Склад енергетичних мазутів

Показники	Марка мазуту				
	високосірчистого			малосірчистого	
	40	100	200	40	100
Середні:					
$S^{daf}, \%$	2,50	2,70	3,00	0,40	0,40
$C^{daf}, \%$	85,50	85,70	85,90	87,50	87,50
$H^{daf}, \%$	11,20	10,60	10,20	11,50	11,10
$(O + N)^{daf}, \%$	0,80	1,00	0,90	0,60	1,00
$Q^{daf}, \text{МДж/кг}$	40,40	40,03	39,77	41,24	40,82
Граничні:					
$A^d, \%$	0,15	0,15	0,30	0,15	0,15
Мазутна зола (V_2O_5), мг/кг	600	600	1200	600	600
$W^r, \%$	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00

Природний газ

У таблиці Г.4 наведено орієнтовний склад (об'ємні частки в сухому газі, %), теплоту згоряння та густину природного газу, який постачається з двох газопроводів: Уренгой – Ужгород та Середня Азія – Центр.

Таблиця Г.4 – Характеристики природного газу для різних газопроводів

Газопровід	$CH_4, \%$	$C_2H_6, \%$	$C_3H_8, \%$	$C_4H_{10}, \%$	$C_5H_{12}, \%$	$CO_2, \%$	$N_2, \%$	$H_2S, \%$	$Q_i^d, \text{МДж/нм}^3$	$\rho_n, \text{кг/нм}^3$
Уренгой—Ужгород	98.90	0.12	0.011	0.01	0.00	0.06	0.90	0.00	33.08	0.723
Середня Азія—Центр	94.29	2.80	0.73	0.15	0.03	1.00	1.00	0.00	34.21	0.764

Додаток Д – Параметри установок очищення димових газів

В таблицях Д.1–Д.8 наведено орієнтовні значення величин для визначення зменшення викидів забруднювальних речовин залежно від виду палива та технології спалювання.

Таблиця Д.1 – Частка леткої золи $a_{\text{вин}}$ при різних технологіях спалювання палива

Котел	Вугілля	Мазут
З твердим (сухим) шлаковидаленням	0,95	1,00
Відкрита топка з рідким шлаковидаленням	0,80	1,00
Напіввідкрита топка з рідким шлаковидаленням	0,70	1,00
Двокамерна топка:	0,55	1,00
з вертикальним передтопком	0,30	1,00
горизонтальна циклонна	0,15	1,00
З циркулюючим киплячим шаром	0,50	–

Продовження таблиці Д.1

Котел	Вугілля	Мазут
З бульбашковим киплячим шаром	0,20	—
З нерухомим шаром	0,15	—

Таблиця Д.2 – Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом у топці

Технологія спалювання	η_I	Примітка
Факельне спалювання вугілля в котлах з рідким шлаковидаленням	0,05	Зв'язування золою палива
Факельне спалювання вугілля в котлах з твердим шлаковидаленням	0,10	Те саме
Факельне спалювання мазуту в котлах	0,02	“
Спалювання в киплячому шарі	0,95	Зв'язування сорбентом у котлі при мольному відношенні $\text{Ca/S } m = 2,5$

Таблиця Д.3 – Ефективність та коефіцієнт роботи сіркоочисної установки.

Технологія десульфуризації димових газів	Параметри сіркоочисної установки	
	η_{II}	β
Мокре очищення – у скрубєрі з використанням вапняку (вапна) або доломіту з одержанням гіпсу	0,95	0,99
Мокре очищення – процес Веллмана—Лорда з використанням солей натрію	0,97	0,99
Мокре очищення – процес Вальтера з використанням аміачної води	0,88	0,99
Напівсухе очищення – розпилення крапель суспензії або розчину сорбенту в реакторі (технології ESOX, GSA, Niro Atomizer...)	0,90	0,99
Сухе очищення – інжекція сухого сорбенту (DSI)	0,45	0,98
Напівсухе очищення – процес LIFAC як розвиток процесу DSI з розпилом крапель води	0,80	0,98
Напівсухе очищення – процес Lurgi CFB (з використанням реактора циркулюючого киплячого шару) з розпилом крапель води	0,90	0,99
Сухе очищення – абсорбція активованим вугіллям	0,95	0,99
Каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX)	0,95	0,99

Таблиця Д.4 – Ефективність уловлювання оксидів сірки η_{II} під час золоочищення за допомогою мокрого скрубєра

Приведений вміст сірки, %/(МДж/кг)	Лужність води на зрошення, мг-екв/дм ³		
	0	5	10
0,01	0,0250	0,1450	0,3000
0,02	0,0220	0,0850	0,1680
0,03	0,0195	0,0520	0,1010
0,04	0,0180	0,0390	0,0660
0,05	0,0175	0,0300	0,0520
0,06	0,0170	0,0260	0,0430
0,07	0,0165	0,0215	0,0350
0,08	0,0160	0,0200	0,0300

Продовження таблиці Д.4

Приведений вміст сірки, %/(МДж/кг)	Лужність води на зрошення, мг-екв/дм ³		
	0		0
0,09	0,0155	0,0190	0,0275
0,10	0,0150	0,0180	0,0230
0,11	0,0145	0,0170	0,0205
0,12	0,0135	0,0160	0,0200
0,13	0,0130	0,0150	0,0185
0,18	0,0120	0,0120	0,0120

Таблиця Д.5 – Показник емісії оксидів азоту без урахування первинних заходів, г/ГДж

Технологія спалювання	Тверде паливо	Мазут	Газотурбінне паливо	Природний газ
Факельне спалювання:				
Теплова потужність котла ≥ 300 МВт:	–	200	–	150
з рідким шлаковидаленням при спалюванні антрациту	420	–	–	–
з рідким шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	250	–	–	–
з твердим шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	230	–	–	–
Теплова потужність котла < 300 МВт:		140	–	100
з рідким шлаковидаленням при спалюванні антрациту	250	–	–	–
з рідким шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	180	–	–	–
з твердим шлаковидаленням при спалюванні кам'яного вугілля	160	–	–	–
з горизонтальною циклонною топкою для кам'яного вугілля	480	–	–	–
Циркулюючий киплячий шар	70	–	–	–
Киплячий шар під тиском	100	–	–	–
Нерухомий шар	100	–	–	–
Камера згоряння газової турбіни	–	150	150	120

Таблиця Д.6 – Значення емпіричного коефіцієнта z

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

Таблиця Д.7 – Ефективність первинних заходів η_I скорочення викиду NO_x .

Тип первинних заходів	Ефективність η_I
Малотоксичні пальники	0,20
Ступенева подача повітря	0,30

Продовження таблиці Д.7

Тип первинних заходів	Ефективність η_I
Подача третинного повітря	0,20
Рециркуляція димових газів	0,10
Трьохступенева подача повітря та палива	0,35
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря	0,45
Малотоксичні пальники + подача третинного повітря	0,40
Малотоксичні пальники + рециркуляція димових газів	0,30
Ступенева подача повітря + подача третинного повітря	0,45
Ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів	0,40
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів	0,50
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + подача третинного повітря	0,60

Таблиця Д.8 – Ефективність та коефіцієнт роботи азотоочисної установки NO_x

Технологія очищення димових газів від NO_x	Ефективність η_{II}	Коефіцієнт роботи β
Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	0,50	0,99
Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	0,80	0,99
Активоване вугілля	0,70	0,99
DESONOX – SNOX	0,95	0,99

Примітка. Технологія DESONOX і її різновид SNOX базуються на каталітичному очищенні димових газів одночасно від оксидів сірки та азоту.

Таблиця Д.9 – Коефіцієнт збагачення важких металів після золоуловлювача

	Ступінь уловлення			
	$\eta \leq 0,7$	$0,7 < \eta \leq 0,97$	$0,97 < \eta \leq 0,99$	$\eta > 0,99$
Арсен (As)	1,0	$= 3,70 \cdot \eta - 1,59$	$= 175 \cdot \eta - 167,75$	5,5
Кадмій (Cd)	1,0	$= 7,04 \cdot \eta - 3,93$	$= 205 \cdot \eta - 195,55$	7,0
Хром (Cr)	1,0	1,0	1,0	1,0
Мідь (Cu)	1,0	$= 0,37 \cdot \eta + 0,74$	$= 60 \cdot \eta - 57,10$	2,3
Ртуть (Hg)	1,0	1,0	1,0	1,0
Нікель (Ni)	1,0	$= 1,48 \cdot \eta - 0,04$	$= 95 \cdot \eta - 90,75$	3,3
Свинець (Pb)	1,0	$= 5,56 \cdot \eta - 2,89$	$= 175 \cdot \eta - 167,25$	6,0
Селен (Se)	1,0	$= 7,78 \cdot \eta - 4,44$	$= 220 \cdot \eta - 210,30$	7,5
Цинк (Zn)	1,0	$= 7,04 \cdot \eta - 3,93$	$= 205 \cdot \eta - 195,55$	7,0

Таблиця Д.10 – Частка газоподібної фракції важкого металу при спалюванні вугілля

Важкий метал	Частка газоподібної фракції
Арсен (As)	0,005
Ртуть (Hg)	0,900
Селен (Se)	0,150
Інші	0

Таблиця Д.11–Ефективність уловлювання газоподібної фракції важкого металу золоуловлювальною установкою під час спалювання твердого палива

Золоуловлювальна установка	Ефективність
Електростатичний фільтр	0,35
Інші	0

Таблиця Д.12 – Значення частки ванадію, яка осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котлів

Котел	Значення
З проміжними пароперегрівачами, очищення поверхонь яких провадиться під час зупинки	0,07
Без проміжних пароперегрівачів (за тих самих умов очищення)	0,05

Таблиця Д.13 – Значення емпіричного коефіцієнта f_v для розрахунку ефективності уловлювання ванадію золоуловлювальною установкою

Золоуловлювальна установка	Емпіричний коефіцієнт
Електростатичний фільтр	0,6
Мокрий скруббер	0,5
Батарейний циклон	0,4

Емпірична формула розрахунку ефективності очищення димових газів від мазутної золи (у перерахунку на ванадій) $\eta_{zy(V)}$ в газомазутних котлах батарейними циклонами, які спеціально застосовуються для цього, що діє в діапазоні значень ефективності пилоочищення циклону 0,65...0,85:

$$\eta_{zy(V)} = 3,1277\eta_{zy}^2 - 1,4948\eta_{zy} - 0,1412, \quad (Д.1)$$

де $\eta_{zy(V)}$ – ефективність очищення димових газів від мазутної золи;
 η_{zy} – ефективність очищення димових газів від твердих частинок.

Таблиця Д.14 – Показник емісії важкого металу під час спалювання природного газу (без урахування золоуловлювальної установки)

Важкий метал	Показник емісії, г/ГДж
Ртуть (Hg)	$1 \cdot 10^{-4}$
Інші	0

Додаток Е – Показники емісії CO, вуглецю палива, N₂O і CH₄

В таблицях Е.1-Е.4 наведено значення показників емісії оксиду вуглецю (CO), вуглецю палива, оксиду діазоту (N₂O) та метану (CH₄) залежно від виду палива та технології спалювання.

Таблиця Е.1 – Показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} , г/ГДж

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

Таблиця Е.2 – Показник емісії вуглецю палива k_C , г/ГДж

Паливо	Значення
Вугілля:	
Антрацит	28 160
Пісне	26 050
газове та довгополуменеве	25 180
Буре	25 630
Мазут	21 100
Природний газ	15 300

Таблиця Е.3 – Показник емісії оксиду діазоту N_2O , г/ГДж

Технологія і паливо	Значення
Вугілля (факельне спалювання)	1,4
Вугілля (киплячий шар)	56
Вугілля (нерухомий шар)	1,4
Мазут	0,6
Природний газ	0,1
Камера згоряння газової турбіни	2,5

Таблиця Е.4 – Показник емісії метану CH_4 , г/ГДж

Паливо	Значення
Вугілля	1,0
Мазут	3,0
Природний газ	1,0

Додаток Ж – Визначення теплової потужності котельної установки

У додатку наведено формули розрахунку теплової потужності для різних типів котельних установок.

Для парових котлів тепла потужність Q залежить від паропроодуктивності D_0 , параметрів пари та інших характеристик котла.

Формула розрахунку теплової потужності парового котла Q , МВт, на основі даних про його паропроодуктивність має вигляд

$$Q = D_0 \frac{1}{w}, \quad (\text{Ж.1})$$

де D_0 – паропроодуктивність парового котла, т/год.;

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

Значення відношення паропроодуктивності котла D_0 до його теплової потужності Q наведено в таблиці Ж.1

Таблиця Ж.1 – Значення відношення паропроодуктивності котла до його теплової потужності

Обладнання	Значення
Котел з тиском свіжої пари p_0 (13,8 МПа (при $D_0 \geq 500$ т/год) з проміжним перегрівом	1,35
Котел з тиском пари в межах: $9,8 \text{ МПа} \leq p_0 \leq 13,8 \text{ МПа}$ (при $D_0 < 500$ т/год) без проміжного перегріву	1,45
Котел з тиском пари в межах: $1,4 \text{ МПа} < p_0 < 9,8 \text{ МПа}$ (при $D_0 = 6,5 \dots 75$ т/год для перегрітої пари) без проміжного перегріву	1,35
Котел з тиском пари $p_0 \leq 1,4 \text{ МПа}$ (при $D_0 \leq 20$ т/год для насиченої пари) без проміжного перегріву	1,50

Для водогрійних котлів формула переведення теплової потужності з Гкал/год в МВт(т) має вигляд

$$Q = N \frac{4,1867}{3,6} = 1,163 N, \quad (\text{Ж.2})$$

де Q – теплова потужність водогрійного котла, МВт;

N – теплова потужність водогрійного котла, Гкал/год.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсову роботу друкують за допомогою комп'ютера на одній сторінці аркуша білого паперу формату A_4 (210x297 мм).

Обсяг основного тексту курсової роботи має становити 30-40 сторінок формату A_4 , без урахування додатків.

Для друку роботи слід використовувати шрифт Times New Roman текстового редактора Word розміру 14 пунктів з одинарним міжрядковим інтервалом.

Текст роботи необхідно друкувати, залишаючи поля таких розмірів: **лівий – не менше 2 см, правий – не менше 1 см, верхній – не менше 1,5 см, нижній – не менше 1,5 см.**

Шрифт друку повинен бути чітким, стрічка – чорного кольору середньої жирності. Щільність тексту повинна бути однаковою.

Титульний аркуш та лист завдання включають до загальної нумерації, але на них номер сторінки **не ставиться**, на наступних

сторінках номери проставляють у **верхньому правому куті** аркуша без крапки вкінці.

Заголовки структурних частин роботи: ЗМІСТ, ВСТУП, РОЗДІЛ, ВИСНОВКИ, СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ, ДОДАТКИ друкують великими літерами симетрично до тексту.

Заголовки підрозділів друкують маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох або більше речень, їх розділяють крапкою.

Приклад: 1.4 (четвертий підрозділ першого розділу)

1.4 Технологічні заходи, що застосовуються для зниження викидів з енергетичних установок

Відстань між заголовком розділу та заголовком підрозділу повинна становити два вільні рядки. Між заголовком підрозділу та текстом повинен бути один вільний рядок.

Не допускається розміщувати назву підрозділу й підпункту у нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.

Кожну структурну частину (РОЗДІЛ) курсової роботи треба починати з нової сторінки.

Такі структурні частини курсової роботи, як ЗМІСТ, ВСТУП, РОЗДІЛ, ВИСНОВКИ, СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ, ДОДАТКИ не мають порядкового номера. Не можна друкувати 1.ВСТУП. Номер розділу ставлять після слова РОЗДІЛ 1, після номера крапку не ставлять, потім з нового рядка друкують заголовок розділу прописними літерами.

Таблиці містять різноманітний статистичний матеріал, відображений у цифрах та **нумеруються** послідовно у межах розділу або додатку. Ліворуч перед відповідним заголовком таблиці розміщують з абзацного відступу (вирівнювання тексту по ширині) напис «Таблиця» із зазначенням її номера. Наприклад, друга таблиця першого розділу: «Таблиця 1.2»

Наприклад:

Таблиця 1.1 – Ефективність та коефіцієнт роботи сіркоочисної установки

Технологія десульфуризації димових газів	Параметри сіркоочисної установки	
	η_{II}	β
Мокре очищення – у скрубєрі з використанням вапняку (вапна) або доломіту з одержанням гіпсу	0,95	0,99
Мокре очищення – процес Веллмана-Лорда з використанням солей натрію	0,97	0,99
Мокре очищення – процес Вальтера з використанням аміачної води	0,88	0,99
Напівсухе очищення – розпилення крапель суспензії або розчину сорбенту в реакторі (технології ESOX, GSA, Niro Atomizer...)	0,90	0,99
Мокре очищення – процес Вальтера з використанням аміачної води	0,88	0,99

При переносі частини таблиці на інший аркуш слово «Таблиця» і її номер указують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть слова «Продовження таблиці» і вказують номер таблиці, наприклад: «Продовження таблиці 1.2». Якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, то в першому випадку у кожній частині таблиці повторюють її головку, в іншому випадку – боковик.

У таблицях в разі необхідності дозволяється зменшувати розмір шрифту до 10-12 пунктів.

Заголовки граф повинні починатися з великих літер, підзаголовки – з маленьких, якщо вони складають одне речення із заголовком, і з великих, якщо вони є самостійними.

Таблицю розміщують після першого згадування про неї у тексті. Розміщують таким чином, щоб її можна було читати без повороту переплетеного блоку курсової роботи або з поворотом за годинниковою стрілкою.

Формули у роботі нумерують у межах розділу. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули у розділі, між якими ставиться крапка. *Номери формул пишуть* біля правого краю аркуша на рівні відповідної формули у круглих дужках, наприклад: (2.1) (перша формула другого розділу).

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче кожної формули або рівняння потрібно залишати один вільний рядок.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою. Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. *Перший рядок пояснення починають* словом «де» без двокрапки. Наприклад:

$$\Delta B = B_1 - B_2, \quad (1.8)$$

де B_1 – викид (скид) забруднюючих речовин до впровадження природоохоронних заходів;

B_2 – викид (скид) забруднюючих речовин після впровадження природоохоронних заходів;

Якщо рівняння не вміщується в один рядок, його слід перенести після знака рівності (=) або після знаків плюс (+), мінус (–), множення (×) і ділення (:).

Загальне правило пунктуації у тексті з формулами таке: формула входить до речення як його рівноправний елемент. Тому в кінці формул і в тексті перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації. Двокрапку перед формулою ставлять лише у випадках, передбачених правилами пунктуації: а) у тексті перед формулою є

узагальнююче слово; б) цього вимагає побудова тексту, що передує формулі.

Ілюстрації – графіки, діаграми, схеми, карти ілюструють різноманітні дані, їх динаміку, порівняльні характеристики, місце розташування на карті тощо.

Ілюстрації необхідно подавати в роботі безпосередньо після тексту, де вони вперше згадані, не залишаючи вільного простору, або на наступній сторінці.

Ілюстрації позначають словом «Рисунок» і нумерують послідовно в межах розділу, за винятком ілюстрацій, поданих у додатках. Номер ілюстрації повинен складатися з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, між якими ставиться крапка. Наприклад: Рисунок 1.2 (другий рисунок першого розділу). Назви ілюстрацій розміщують після номерів.

У тому місці, де викладається тема, пов'язана з ілюстрацією, і де читачеві треба вказати на неї, розміщують посилання у вигляді виразу у круглих дужках: (рис. 3.1) або зворот типу: «... як це видно з рис. 3.1» або «... як це показано на рис. 3.1».

Для зручності сприймання слід *відділяти ілюстрації* від попереднього і наступного тексту *одним вільним рядком*.

Наприклад:

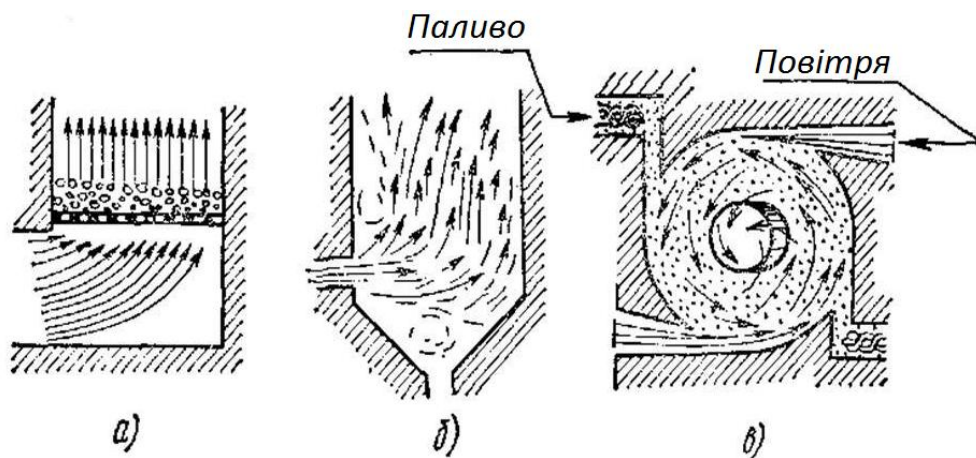


Рисунок 1.1 – Способи спалювання палива: а) шаровий, б) факельний, в) вихровий

Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел, який наводять у курсовій роботі наведено у **Додатку Г**.

Додатки подають як продовження роботи на наступних її сторінках, розміщуючи у порядку появи посилань у тексті. Додаток повинен мати заголовок, надрукований прописними літерами симетрично до тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком прописними літерами друкується слово «Додаток ____» і велика літера, що позначає додаток. Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, за винятком літер Г, Є, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад: Додаток А, Додаток Б і т.д.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Базовые энергоустановки и технологии производства энергии с учетом экологических аспектов. Ч. 1: Энергогенерирующие установки на органическом топливе / В.А. Малярченко, Г.Б. Варламов, Г.Н. Любчик и др. – Х.: ХГАГХ, 2001. – 210 с.
2. Бюллетень ВАК України, № 6, 2007 (зміни – № 3, 2008).
3. Варламов Г.Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Малярченко. – К.: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2003. – 232 с.
4. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.
5. ГКД 34.02.305–2002. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок. Методика определения. (УДК 662.611:66.074.3.) Викиди забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення.
6. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем : підручник. / Драганов Б.Х., Іщенко В.В., Шеліманова О.В. ; за ред. професора Б.Х. Драганова. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 230 с.
7. Котлер В.Р., Беликов С.Е. Промышленно-отопительные котельные: сжигание топлив и защита атмосферы. – СПб.: Энерготех, 2001. – 272 с. (серия «Проблемы энергетики», вып. 2).
8. Котлер В.Р. Снижение выбросов оксидов азота котлами ТЭС при сжигании органического топлива. – ВИНТИ, 1987, том 7. – 92 с.
9. Малярченко В.А. Енергетика і навколишнє середовище., Х.: Видавництво САГА, 2008. – 364 с.
10. Оценка воздействия объектов энергетики на окружающую среду / Г.А. Белявский, Г.Б. Варламов, В.В. Гетьман и др. – Х.: ХГАГХ, 2002. – 369 с.
11. Рихтер Л.А. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций / Л.А. Рихтер, Э.П. Волков, В.Н. Покровский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
12. Роддатис К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К.Ф. Роддатис, А.Н. Полтарецкий. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
13. Росляков П.В. Экологически чистые технологии использования угля на ТЭС / П.В. Росляков, М.А. Изюмов: Учеб. пособие – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 124 с.
14. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. 2-е изд., перераб. и доп. – Л: Недра, 1988. – 312 с.
15. Сидельковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий / Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юренев: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.

ДОДАТОК А – Титульний аркуш

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
КАФЕДРА ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

КУРСОВА РОБОТА

3 _____
(назва дисципліни)

на тему: _____

Студента (ки) _____ курсу _____ групи
напряму підготовки _____
спеціальності _____

(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)

м. _____ - 20 ____ рік

ДОДАТОК Б – Приклад оформлення змісту

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ КОТЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ.....	7
1.1 Котельні енергетичні установки, їх різновиди	7
1.2 Паливо, що застосовується для спалювання в котлових енергетичних установках.....	9
1.3 Склад димових газів котельних енергетичних установок.....	11
1.4 Технологічні заходи, що застосовуються для зниження викидів з енергетичних установок.....	12
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРУ ВІД ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК РОЗРАХУНКОВИМ МЕТОДОМ ...	17
2.1 Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	18
2.2 Діоксид сірки SO_2	19
2.3 Оксиди азоту NO_x	21
2.4 Важкі метали	22
2.5 Оксиди вуглецю CO і CO_2	25
2.6 Оксид діазоту N_2O і метан	26
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРУ ВІД ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ...	27
3.1 Викиди під час спалювання вугілля.....	28
3.2 Викиди під час спалювання мазуту.....	31
3.3 Викиди під час спалювання природного газу	34
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	39
ДОДАТКИ.....	40

ДОДАТОК В – Приклад оформлення назви розділу

РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ КОТЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

1.1 Котельні енергетичні установки, їх різновиди

Котел – потужний стаціонарний водонагрівач, призначений для отримання гарячої води або пари. Промислові котли це опалювальні системи, які володіють високими потужностями і внаслідок цього – великими розмірами. Зазвичай промислові опалювальні котли це громіздкі системи, які встановлюються в спеціалізованих приміщеннях, що відповідають усім вимогам техніки безпеки.

Основний елемент котельного агрегату – топковий пристрій, або топка, що призначена для спалювання палива з метою виділення укладеного в ньому тепла і отримання продуктів згоряння з якомога більшою температурою. У той же час топка служить теплообмінним пристроєм, в якому відбувається тепловіддача випромінювання із зони горіння на більш холодні навколишні поверхні нагрівання котла, а також пристроєм для вловлювання та видалення деякої частини залишків при спалюванні твердого палива.

У сучасних котельних установках зазвичай використовуються три основних способи спалювання твердого палива: шаровий, факельний, вихровий. Розглянемо їх більш детально.

1.2 Паливо, що застосовується для спалювання в котельних енергетичних установках

Для спалювання в котлах може використовуватись тверде (вугілля, горючі сланці, торф, дрова та інші деревні матеріали), рідке (мазут, дизельне паливо, солярка, відпрацьоване масло) або газоподібне паливо (природний газ, коксовий газ, піролізний газ, біогаз).

Детально розглянемо три види палива: тверде – вугілля, рідке – мазут, газоподібне – природний газ.

ДОДАТОК Г - Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел, який наводять у курсовій роботі [2]

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Книги: Один автор	1. Коренівський Д. Г. Дестабілізуючий ефект параметричного білого шуму в неперервних та дискретних динамічних системах / Коренівський Д. Г. – К. : Ін-т математики, 2006. – 111 с. – (Математика та її застосування) (Праці / Ін-т математики НАН України ; т. 59). 2. Матюх Н. Д. Що дорожче срібла-золота / Наталія Дмитрівна Матюх. – К. : Асамблея діл. кіл : Ін-т соц. іміджмейкінгу, 2006. — 311 с. – (Ювеліри України ; т. 1).
Два автори	1. Матяш І. Б. Діяльність Надзвичайної дипломатичної місії УНР в Угорщині : історія, спогади, арх. док. / І. Матяш, Ю. Мушка. — К. : Києво-Могилян. акад., 2005. – 397, [1] с. – (Бібліотека наукового щорічника «Україна дипломатична» ; вип. 1). 2. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2007. – 375 с.
Три автори	Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование: как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации / Акофф Р. Л., Магидсон Д., Эддисон Г. Д. ; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – XLIII, 265 с.
Чотири автори	Методика нормування ресурсів для виробництва продукції рослинництва / [Вітвіцький В.В., Кисляченко М.Ф., Лобастов І.В., Нечипорук А.А.]. – К. : НДІ «Укراгропром-продуктивність», 2006. – 106 с. – (Бібліотека спеціаліста АПК. Економічні нормативи).
П'ять і більше авторів	Формування здорового способу життя молоді : навч.-метод. посіб. для працівників соц. служб для сім'ї, дітей та молоді / [Т.В. Бондар, О.Г. Карпенко, Д.М. Дикова-Фаворська та ін.]. – К. : Укр. ін-т соц. дослідж., 2005. – 115 с. – (Серія «Формування здорового способу життя молоді» : у 14 кн., кн. 13).
Без автора	Проблеми типологічної та квантитативної лексикології : [зб.наук.праць / наук. ред. Каліущенко В. та ін.]. – Чернівці : Рута, 2007. – 310 с.
Багатотомний документ	1. Межгосударственные стандарты : каталог в 6 т. / [сост. Ковалева И. В., Рубцова Е. Ю. ; ред. Иванов В. Л.]. – Львов : НТЦ «Леонорм-Стандарт», 2005 – (Серия «Нормативная база предприятия»). Т. 1. – 2005. – 277 с. 2. Бондаренко В. Г. Теорія ймовірностей і математична статистика. Ч.1 / В.Г. Бондаренко, І. Ю. Канівська, С. М. Парамонова. – К. : НТУУ «КПІ», 2006. – 125 с.
Матеріали конференцій, з'їздів	1. Кібернетика в сучасних економічних процесах : зб. текстів виступів на республік. міжвуз. наук.-практ. конф. / Держкомстат України, Ін-т статистики, обліку та аудиту. – К. : ІСОА, 2002. – 147 с. 2. Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій : праці конф., 6–9 черв. 2000 р., Київ. Т. 2 / відп. Ред. В. Т. Трощенко. – К. : НАН України, Ін-т пробл. міцності, 2000. – С. 559–956, XIII, [2] с. – (Ресурс 2000).
Препринти	Панасюк М. І. Про точність визначення активності твердих радіоактивних відходів гамма-методами / Панасюк М. І., Скорбун А. Д., Сплошной Б. М. – Чорнобиль : Ін-т пробл. безпеки АЕС НАН України, 2006. – 7, [1] с. – (Препринт / НАН України, Ін-т пробл. безпеки АЕС ; 06-1).

Продовження таблиці

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Депоновані наукові праці	1. Социологическое исследование малых групп населения / В. И. Иванов [и др.] ; М-во образования Рос. Федерации, Финансовая академия. – М., 2002. – 110 с. – Деп. в ВИНТИ 13.06.02, № 145432. 2. Разумовский, В. А. Управление маркетинговыми исследованиями в регионе / В. А. Разумовский, Д. А. Андреев. – М., 2002. – 210 с. – Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.
Словники	1. Географія : словник-довідник / [авт.-уклад. Ципін В. Л.]. – Х. : Халімон, 2006. – 175, [1] с. 2. Тимошенко З. І. Болонський процес в дії : словник-довідник основ. термінів і понять з орг. навч. процесу у вищ. навч. закл. / З. І. Тимошенко, О. І. Тимошенко. – К. : Європ. ун-т, 2007. – 57 с.
Атласи	1. Анатомія пам'яті : атлас схем і рисунків провідних шляхів і структур нервової системи, що беруть участь у процесах пам'яті : посіб. для студ. та лікарів / О. Л. Дроздов, Л. А. Дзяк, В. О. Козлов, В. Д. Маковецький. – 2-ге вид., розшир. та доповн. – Дніпропетровськ : Пороги, 2005. – 218 с. 2. Куерда Х. Атлас ботаніки / Хосе Куерда ; [пер. з ісп. В. Й. Шовкун]. – Х. : Ранок, 2005. – 96 с.
Законодавчі та нормативні документи	1. Кримінально-процесуальний кодекс України : за станом на 1 груд. 2005 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2006. – 207 с. – (Бібліотека офіційних видань). 2. Медична статистика статистика : зб. нормат. док. / упоряд. та голов. ред. В. М. Заболотько. – К. : МНІАЦ мед. статистики : Медінформ, 2006. – 459 с. – (Нормативні директивні правові документи).
Стандарти	1. Графічні символи, що їх використовують на устаткуванні. Показчик та огляд (ISO 7000:2004, IDT) : ДСТУ ISO 7000:2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України 2006. – IV, 231 с. – (Національний стандарт України). 2. Якість води. Словник термінів : ДСТУ ISO 6107-1:2004– О ДСТУ ISO 6107-9:2004. – [Чинний від 2005-04-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національні стандарти України).
Каталоги	1. Межгосударственные стандарты : каталог : в 6 т. / [сост. Ковалева И. В., Павлюкова В. А. ; ред. Иванов В. Л.]. – Львов : НТЦ «Леонорм-стандарт», 2006 – (Серия «Нормативная база предприятия»). Т. 5. – 2007. – 264 с. Т. 6. – 2007. – 277 с. 2. Університетська книга : осінь, 2003 : [каталог]. – [Суми : Унів. кн., 2003]. – 11 с.
Бібліографічні покажчики	1. Куц О. С. Бібліографічний показник та анотації кандидатських дисертацій, захищених у спеціалізованій вченій раді Львівського державного університету фізичної культури у 2006 році / О. Куц, О. Вацеба. – Львів : Укр. технології, 2007. – 74 с. 2. Систематизований показник матеріалів з кримінального права, опублікованих у Віснику Конституційного Суду України за 1997-2005 роки / [уклад. Кириць Б. О., Потлань О. С.]. – Львів : Львів. держ. ун-т внутр. справ, 2006. – 11 с. – (Серія: Бібліографічні довідники ; вип. 2).

Електронні ресурси	1. Богомольний Б. Р. Медицина екстремальних ситуацій [Електронний ресурс]] : навч. посіб. для студ. мед. вузів III—IV рівнів акредитації / Б. Р. Богомольний, В. В. Кононенко, П. М. Чуєв. — 80 Min / 700 MB. — Одеса : Одес. мед. ун-т, 2003. — (Бібліотека студента-медика) — 1 електрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. — Систем. вимоги: Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; MS Word 97-2000.— Назва з контейнера
--------------------	--

Підп. до друк 01.10.13. Формат 60x84 1/16.

Умовн.-друк. арк. 1,2.

Вид. № 87/13.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.