

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

С. М. Літвак, О. А. Літвак

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ

Методичні вказівки до виконання курсової роботи

Рекомендовано Методичною радою НУК



2026

УДК 504.03(076)

Л64

Укладачі:

С. М. Літвак, канд. техн. наук, професор НУК ім. адмірала Макарова;

О. А. Літвак, канд. екон. наук, доцент

Рецензент:

О. М. Маринець, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій НУК ім. адмірала Макарова

Рекомендовано Методичною радою НУК

Літвак С. М.

Л64 Техноекологія : методичні вказівки до виконання курсової роботи / С. М. Літвак, О. А. Літвак. – Миколаїв : НУК, 2026. – 91 с.

Дані методичні вказівки розроблені з метою надання допомоги здобувачам вищої освіти в організації та виконанні курсової роботи з навчальної дисципліни «Техноекологія». У методичних вказівках наведено основні вимоги до змісту, структури, оформлення та захисту курсової роботи, надано рекомендації щодо проведення аналізу й виконання розрахунків. Методичні матеріали спрямовані на розвиток аналітичного мислення, навичок самостійної роботи та обґрунтування техніко-екологічних рішень.

Призначено для використання в освітньому процесі підготовки бакалаврів за спеціальністю Е2 «Екологія».

УДК 504.03(076)

© С. М. Літвак, О. А. Літвак, 2026

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2026

ВСТУП

Сучасні виробничі процеси та технологічні системи супроводжуються забрудненням атмосфери, водних ресурсів, ґрунтів, утворенням відходів та іншими формами впливу на довкілля. У цих умовах особливо актуальною стає підготовка фахівців, здатних оцінювати рівень техногенного навантаження, розробляти природоохоронні рішення та забезпечувати екологічну безпеку на різних рівнях.

Навчальним планом освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів «Екологія та охорона навколишнього середовища», спеціальності Е2 Екологія передбачено вивчення навчальної дисципліни «Техноекологія». Дана освітня компонента є обов'язковою в циклі дисциплін професійної підготовки здобувачів освіти.

Курс «Техноекологія» формує у студентів системне екологічне мислення, вчить аналізувати техногенні джерела забруднення, оцінювати рівень впливу на різні компоненти біосфери та розробляти заходи щодо забезпечення екологічної безпеки.

Вивчення навчальної дисципліни «Техноекологія» передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

- демонструвати розуміння основних принципів управління природоохоронними діями та/або екологічними проектами;
- розуміти основні концепції, теоретичні та практичні проблеми в галузі природничих наук, що необхідні для аналізу і прийняття рішень у сфері екології, охорони довкілля та оптимального природокористування;

- використовувати принципи управління, на яких базується система екологічної безпеки;
- уміти прогнозувати вплив технологічних процесів та виробництв на навколишнє середовище;
- брати участь у розробці та реалізації проєктів, направлених на оптимальне управління та поводження з виробничими та муніципальними відходами.

З метою систематизації, закріплення та розширення теоретичних і практичних знань та їх застосування при вирішенні конкретних наукових та природоохоронних завдань навчальним планом передбачено виконання курсової роботи з дисципліни «Техноекологія» студентами денної і заочної форми навчання.

Дані методичні вказівки розроблені з метою надання допомоги студентам в організації та виконанні курсової роботи. У них наведено основні вимоги до змісту та структури роботи, надано рекомендації щодо проведення аналізу, виконання розрахунків, оформлення та захисту курсової роботи з дисципліни «Техноекологія». Методичні матеріали орієнтовані на розвиток у студентів аналітичного мислення, навичок ведення самостійної роботи, оволодіння методиками дослідження та формування відповідальності за ухвалення техніко-екологічних рішень.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Організація, підготовка і захист курсової роботи регулюється Положенням «Про курсову роботу (проект) у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова» [16].

Курсова робота – індивідуальна самостійна робота студента, яка спрямована на розв’язання певного професійного завдання, що базується на застосуванні теоретичних знань і практичних навичок, отриманих під час вивчення навчальної дисципліни.

Метою курсової роботи з навчальної дисципліни «Техно-екологія» є закріплення, поглиблення і узагальнення знань, одержаних студентами під час навчання, та підготовка студентів до самостійної діяльності, спрямованої на визначення характеристик забруднень навколишнього середовища, що виникають у процесі функціонування промислових об’єктів, набуття навичок з розрахунків та дослідження впливу виробництва на навколишнє середовище, а також розроблення заходів щодо мінімізації негативних екологічних наслідків.

Підготовка курсової роботи передбачає виконання студентами таких завдань:

- поглиблення, систематизація та закріплення знань, набутих у процесі навчання, та набуття навичок їхнього застосування задля комплексного рішення певного професійного завдання;
- набуття навичок самостійної роботи з навчальними та науковими джерелами інформації;

- розвиток умінь узагальнювати різні пропозиції (точки зору, підходи, концепції), чітко висловлювати та аргументувати власні висновки;

- набуття навичок виконання розрахунків, креслень, графічних елементів із застосуванням сучасного програмного забезпечення.

При виконанні курсової роботи студенти зобов'язані дотримуватися норм академічної доброчесності, що передбачає:

- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;

- самостійне виконання завдання на курсовий проєкт (роботу) з сумлінним опрацюванням всіх розділів та пунктів;

- посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;

- відсутність фальсифікування або фабрикивання інформації та її наступне використання в курсовому проєкті (роботі);

- використання у курсовому проєкті (роботі) лише перевірених і достовірних джерел інформації та грамотне посилення на них.

Курсова робота виконується державною мовою. Написання курсової роботи іншою, ніж державна, мовою можливе за заявою студента при погодженні завідувачем кафедри.

Загальними вимогами до курсової роботи є:

- цільова спрямованість;

- чіткість побудови;

- логічна послідовність викладу матеріалу;

- глибина дослідження та повнота висвітлення питань;

- переконливість аргументацій;

- стислість і точність формулювань;

- конкретність викладу результатів роботи;

- доказовість висновків та обґрунтованість рекомендацій;

- грамотне оформлення.

Тематика курсових робіт визначається викладачем, який є науковим керівником курсового проєктування. Студент також

має право самостійно запропонувати тему з обґрунтуванням тематики (наприклад, згідно наукових досліджень). Орієнтовний перелік тем курсової роботи наведено у розділі 4.

Курсова робота виконується студентом самостійно за консультативною допомогою викладача. Керівник роботи здійснює загальне керівництво під час виконання курсової роботи та допомагає вибрати навчальну та наукову літературу, перспективний напрямок досліджень, контролює обсяг, зміст і графік виконання роботи. Відповідальність за прийняття в роботі рішень і правильність виконання розрахунків покладається на студента як автора роботи.

2 СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ ТА ВИМОГИ ДО ЇЇ ОФОРМЛЕННЯ

2.1 Етапи виконання курсової роботи

Курсова робота виконується у кілька етапів протягом усього семестру відповідно до календарного графіка, визначеному у завданні на курсову роботу. Календарний графік має містити строки подання на перевірку науковому керівникові як роботи у цілому, так і окремих її розділів.

Термін подання завершеної курсової роботи науковому керівнику – не пізніше ніж за два тижні до захисту, на кафедрі – не пізніше ніж за два робочих дні до захисту. Керівник роботи консультує студентів протягом всього терміну проектування у відповідності до графіка консультацій. Захист курсових робіт відбувається до початку екзаменаційної сесії за складеним кафедрою графіком.

Можна виділити такі основні етапи виконання курсової роботи:

1. Вибір теми роботи, складання плану курсової роботи.
2. Вивчення літературних джерел, збір інформації, необхідної для написання роботи.
3. Вибір методики та оптимальних рішень.
4. Проведення розрахунків.
5. Аналіз одержаних результатів, обґрунтування висновків та пропозицій.
6. Оформлення курсової роботи.
7. Перевірка курсової роботи керівником та надання зауважень.

8. Коригування курсової роботи, повторна перевірка керівником та допуск до захисту.

9. Захист курсової роботи.

Студент зобов'язаний дотримуватись терміну виконання курсової роботи. До захисту допускаються лише ті курсові роботи, які відповідають вимогам до оформлення та змісту, що підтверджується керівником студента.

2.2 Структура курсової роботи

Курсова робота повинна відповідати заданій темі, бути виконана на персональному комп'ютері та здана у друкованому вигляді у встановлені терміни. За погодженням з керівником допускається попереднє відправлення курсового проєкту на перевірку в електронному вигляді через електронні освітні платформи чи поштові сервіси.

Результати курсової роботи з дисципліни «Техноекологія» оформлюються у вигляді пояснювальної записки, додатків (за потреби) та презентації (або графічної частини).

Пояснювальна записка до курсової роботи повинна у повному обсязі розкривати поставлені завдання, містити аналіз методів дослідження, необхідні розрахунки тощо. В ній наводяться можливі варіанти методів очищення, схема системи очищення повітря або води, утилізації або рекуперації відходів, показники забруднення довкілля на об'єкті проєкування, результати розрахунків характеристик розробленої системи тощо.

Пояснювальна записка до курсової роботи повинна містити у собі послідовно розміщені: титульний аркуш; завдання; зміст; вступ; розділи; висновки; перелік літературних джерел; додатки.

Титульний аркуш оформляється за зразком (додаток А).

Завдання видається керівником курсової роботи, підписується студентом та є невід'ємною частиною роботи. Шаблон завдання наведено у додатку Б.

Зміст роботи розташовується на третьому аркуші роботи і повинен містити: вступ, послідовно перелічені назви всіх розділів і підрозділів роботи, висновки, перелік літературних джерел із зазначенням номерів їх перших сторінок (додаток В).

Вступ

У вступі до курсової роботи з дисципліни «Техноекологія» слід коротко розкрити актуальність теми, сформулювати мету та завдання дослідження, позначити об'єкт та предмет дослідження, а також охарактеризувати структуру самої роботи.

Актуальність теми передбачає визначення значимості теми, що розглядається, в контексті сучасних екологічних проблем, пов'язаних з техногенним впливом на навколишнє середовище. Наводяться короткі відомості про поточний стан проблеми та її вплив на екологічну обстановку.

Мета повинна відображати основну спрямованість курсової роботи, наприклад, аналіз, оцінка, розробка або обґрунтування екологічно безпечних рішень у рамках техноекоекологічних процесів.

Завдання є конкретними етапами, необхідними для досягнення мети (наприклад: вивчити теоретичні аспекти, проаналізувати техногенний вплив, розрахувати викиди, запропонувати заходи щодо зниження забруднення тощо).

Об'єкт дослідження – це явище чи процес, на який спрямовано дослідження (наприклад, техногенний вплив промислових підприємств).

Предмет дослідження – конкретні аспекти об'єкта, що підлягають аналізу (наприклад, джерела забруднення, обсяги використання ресурсів, способи зниження викидів шкідливих речовин на певному підприємстві).

Також у Вступі коротко перераховуються методи, використані у роботі (аналітичний, розрахунковий, порівняльний, графічний тощо).

Обсяг вступу повинен становити 1–2 сторінки.

Основна частина

Основна частина включає вирішення теоретичних, аналітичних, практичних і прогнозних питань, передбачених планом, і повинна містити дані, що відображають теорію, методику й основні результати виконаної роботи.

Основна частина може складатися з двох-чотирьох розділів, кожен із яких ділиться на підрозділи. Зміст основної частини курсової роботи є теоретичним осмисленням проблеми та викладом емпіричного досвіду, фактичного матеріалу.

У *першому розділі* курсової роботи, як правило, розглядаються теоретичні основи теми дослідження, а також надається огляд ключових понять, законодавчих аспектів та екологічних проблем, пов'язаних з техногенним впливом певного виробничого процесу, технології, галузі промисловості тощо. Цей розділ закладає фундамент практичної частини роботи. Перший розділ відображає теоретичне осмислення студентом досліджуваної проблеми на основі вивчених та опрацьованих літературних джерел, нормативно-правових документів та сучасного стану розвитку управлінських екологічних рішень та технологій у досліджуваній галузі. Наприклад, якщо йдеться мова в курсовій роботі про машинобудівне підприємство, то робиться акцент на екологічних проблемах та особливостях забруднень, характерних саме для машинобудування.

У *другому розділі* курсової роботи розглядаються практичні аспекти, пов'язані з об'єктом дослідження, виконується аналіз його техногенного впливу на довкілля. Цей розділ показує, як теоретичні знання застосовуються практично (наприклад, аналіз екологічного стану машинобудівного підприємства).

У другому розділі треба надати коротку характеристику об'єкту дослідження (промислового підприємства, окремого

виробництва тощо), навести опис основних технологічних процесів та ресурсів (матеріальних та енергетичних), які використовуються при цьому, викласти основні екологічні проблеми, що виникають у процесі діяльності даного об'єкта.

У другому розділі подається опис всіх джерел забруднення досліджуваного виробництва та виконуються розрахунки кількості шкідливих речовин, що виділяються на даному об'єкті. Також можлива обробка статистичних даних з технічної документації та інші розрахунки, за рекомендацією викладача.

При виконанні інженерних розрахунків необхідно обов'язково робити посилання на методику, згідно з якою вони проводяться. Розрахункову частину можна зробити підрозділом другого розділу або виділити окремим розділом (в залежності від обсягів розрахунків).

При формуванні другого розділу курсової роботи можна виділити такі підрозділи:

- коротка характеристика об'єкта дослідження (підприємства): назва, профіль та спеціалізація, основні виробничі процеси, місце розташування, санітарно-захисна зона, обсяги виробництва та сировина, що використовується в технологічному циклі;
- виявлення джерел забруднення: вплив на атмосферне повітря (викиди від обладнання, зварювальних постів, термічних ділянок тощо), вплив на водні ресурси (скидання забруднених стічних вод, споживання води), вплив на ґрунти та утворення відходів (тверді виробничі відходи, шлами, олії, металобрухт);
- розрахунок обсягів забруднень: розрахунок або оцінка викидів забруднюючих речовин, порівняння з нормативами (ГДР, ГДС, ГДК), оцінка перевищень та потенційних ризиків;
- екологічний стан прилеглої території: наявність забрудненого ґрунту, запиленості, шумового забруднення, аналіз даних спостережень (якщо є), вплив на населення, екосистеми;

- діючі природоохоронні заходи: які системи фільтрації та очищення використовуються; утилізація та переробка відходів; енергоефективні або ресурсозберігаючі технології; недоліки існуючих рішень.

Цей розділ може супроводжуватися таблицями, схемами, графіками та результатами розрахунків. Він служить основою для третього розділу, в якому пропонуються заходи щодо зниження негативного впливу, що виникає в процесі діяльності досліджуваного об'єкту.

У *третьому розділі* курсової роботи розглядаються практичні заходи та пропозиції, які можуть бути використані на досліджуваному виробництві для забезпечення екологічної безпеки та зниження негативного впливу на довкілля. Цей розділ логічно завершує дослідження, переходячи від аналізу (у 2-му розділі) до обґрунтування необхідних технічних та технологічних рішень, які дозволяють значно зменшити параметри забруднення компонентів довкілля, враховуючи специфіку підприємства.

При написанні третього розділу курсової роботи можна сформулювати такі підрозділи (не обов'язково всі, які наведені нижче):

- обґрунтування необхідності природоохоронних заходів: висновки за результатами аналізу, проведеного у другому розділі, виявлені екологічні проблеми підприємства, наслідки бездіяльності (екологічні, санітарні, економічні);

- пропозиції щодо зниження викидів в атмосферу: встановлення або модернізація фільтрів, циклонів, скрубєрів, заміна застарілого обладнання, перехід на більш екологічне паливо чи технології;

- заходи щодо очищення та раціонального використання води: встановлення локальних очисних споруд; організація оборотного водопостачання, моніторинг скидів та контроль за ГДС;

- удосконалення системи поводження з відходами: сортування, переробка, утилізація промислових відходів, організація тимчасового зберігання та транспортування за нормативами, використання безвідходних чи маловідходних технологій;
- економічна та екологічна ефективність запропонованих заходів: короткий розрахунок (або оцінка) витрат на впровадження природоохоронних заходів та потенційного економічного ефекту; зниження екологічного податку, штрафів, витрат на утилізацію відходів; оцінка екологічного ефекту (зменшення забруднень, покращення стану навколишнього середовища);
- перспективи впровадження та рекомендації: етапи реалізації; необхідні нормативні чи організаційні зміни; роль екологічного моніторингу та контролю, цифровізація обліку забруднень тощо.

Висновки

У висновках до курсової роботи підбиваються підсумки всього дослідження. Тут не наводиться нова інформація – лише короткий, чіткий аналіз отриманих результатів, відповідність цілей та завдань, а також висновки про значущість роботи та можливості її практичного застосування.

Висновки не повинні бути громіздкими за обсягом, як правило, вони займають 1–2 сторінки. У висновках необхідно навести стисле обґрунтування щодо змісту кожного розділу роботи, позитивні та негативні тенденції в оцінці впливу на навколишнє середовище, короткі пропозиції щодо вдосконалення діяльності об'єкта дослідження та оцінку практичного застосування запропонованих природоохоронних заходів і перспективи подальших досліджень (за бажанням).

Висновки зручно поділити на пункти, відповідно до визначених завдань, що зазначені у вступі курсової роботи. Висновки слід викладати з чітким указанням того, що саме зроблено автором роботи: «Розглянуто.... Проаналізовано... Вибрано... Проведено дослідження та зібрано... Аналіз показав, що... Розроблено рекомендації щодо...».

Список використаних джерел

Список використаних джерел повинен включати перелік вивчених та використаних джерел інформації: літературу на паперових носіях та електронні джерела інформації (статті, книги, звіти, нормативні документи, відео тощо). Список джерел дозволяє судити про ступінь вивченості проблеми та наявність у студента навичок самостійної роботи з інформацією. Він повинен бути оформлений відповідно до вимог ДСТУ 8302:2015. Приклади оформлення бібліографічних посилань у списку використаних джерел згідно з зазначеним стандартом наведено у додатку Г.

Список використаних джерел необхідно оформляти в алфавітному порядку прізвищ перших авторів або заголовків, мовою видання. Всі джерела вказуються тією мовою, якою вони видані. Кількість посилань на джерела інформації для курсової роботи становить не менше 25. Список використаних джерел розміщується після висновків. На кожне джерело, наведене у списку, повинно бути посилання в роботі.

Додатки

До додатків включаються матеріали, які з будь-яких причин не можуть бути внесені до основної частини курсової роботи (довідкові матеріали, фрагменти каталогів обладнання, об'ємні таблиці даних, виписки з нормативних документів, ілюстрації допоміжного характеру тощо), але необхідні для пояснення запропонованих у роботі рішень. Також до додатків можуть входити креслення.

Додатки розміщуються наприкінці роботи в порядку появи посилань у тексті. Вони не входять у текстову частину курсової роботи, подаються після списку використаних джерел.

Презентація до курсової роботи

Презентація до курсової роботи – це наочний супровід усної доповіді студента, в якій коротко та структуровано представлені основні положення, результати та висновки курсової роботи. Вона допомагає слухачам (керівнику курсової роботи

та комісії) краще зрозуміти суть дослідження й оцінити його значущість та якість.

Презентація – це не просто копія курсової, а її короткий і зручний для сприйняття візуальний план. Зазвичай вона готується в PowerPoint, Google Slides або в аналогічних програмах.

Сруктура презентації до курсової роботи з дисципліни «Техноекологія» наступна:

1. Титульний слайд містить такі відомості: назва навчального закладу, назва кафедри, назва навчальної дисципліни, тема курсової роботи, прізвище, ім'я, по батькові і група студента, прізвище, ім'я, по батькові, посада, вчений ступінь і вчене звання наукового керівника, місто, рік.

2. Актуальність дослідження, мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження. 1–2 слайди.

3. Методи дослідження (аналітичні, експериментальні, розрахункові тощо).

4. Аналітична частина. Опис поточного стану об'єкта (наприклад, екологічна ситуація підприємства, рівень викидів та ін.). 1–3 слайди.

5. Власне дослідження студента – розрахунки, схеми, пропозиції щодо покращення екологічної ситуації, впровадження технологій тощо. 2–4 слайди.

6. Обґрунтування користі від застосування запропонованих природоохоронних рішень. Їх екологічна та економічна ефективність (за наявності даних в курсовій роботі). 1–3 слайди.

7. Висновки.

Презентація є підтримкою і допомогою студенту під час захисту курсової роботи. Це короткий та ясний виклад ключових ідей, візуальне подання інформації (графіки, таблиці, схеми) і демонстрація рівня підготовки студента, розуміння теми дослідження. Приклад оформлення перших сторінок презентації до курсової роботи наведено в додатку Д.

2.3 Вимоги до оформлення курсової роботи

Курсова робота оформлюється у друкованому вигляді на одному боці аркушів білого паперу формату А-4 (210 × 297 мм). Основний обсяг курсової роботи повинен становити 30–35 сторінок. Обсяг списку використаних джерел і додатків до основного обсягу курсової роботи не враховується. При комп'ютерному наборі використовується шрифт Times New Roman 14 через 1,5 інтервали. Текст курсової роботи необхідно друкувати, залишаючи поля таких розмірів: ліве – 30 мм, праве – 10 мм, верхнє – 20 мм, нижнє – 20 мм. Абзацний відступ – 1,25 см.

Сторінки курсової роботи нумеруються арабськими цифрами в правому нижньому кутку з використанням наскрізної нумерації по всьому тексту. Титульний лист та завдання не нумеруються, але включаються до загальної нумерації сторінок. Додатки також включаються до загальної нумерації сторінок. Нумерація розділів, підрозділів, рисунків, таблиць, формул подаються арабськими цифрами без знака №.

Заголовки структурних частин курсової роботи **«ЗМІСТ»**, **«ВСТУП»**, **«РОЗДІЛ»**, **«ВИСНОВКИ»**, **«СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ»**, **«ДОДАТКИ»** друкують великими літерами жирним шрифтом з розташування по центру. Заголовки підрозділів друкуються маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу жирним шрифтом. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Відстань між заголовком (за винятком заголовку пункту) та текстом повинна дорівнювати 2 інтервали.

Перенесення слів, а також відрив прийменника або сполучника від слова, що відноситься до нього, у заголовках не допускаються. Якщо заголовок потрібно перенести на наступний рядок, то не рекомендується розбивати стійкі словосполучення.

Підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку. Після номера підрозділу крапку не ставлять, потім у тому ж рядку наводять заголовок підрозділу.

Розділи основної частини курсової роботи рекомендується починати з нового аркуша, підрозділи розташовуються в тексті роботи та відокремлюються від попереднього тексту одним порожнім рядком.

Цифровий (графічний) матеріал, як правило, оформляється у вигляді таблиць, графіків, діаграм, ілюстрацій та має за текстом окрему наскрізну нумерацію для кожного виду матеріалу або нумерацію в межах розділів, виконану арабськими цифрами. Допускається кольорове оформлення матеріалів. На кожену таблицю і рисунок повинно бути посилання в тексті курсової роботи.

Таблицю розміщують після першого згадування про неї в тексті. Таблиці нумерують послідовно в межах розділу (за винятком таблиць, поданих у додатках). З абзацного відступу розміщують надпис «Таблиця» із зазначенням її номера, далі в тому ж рядку вказують назву таблиці (вирівнювання тексту по ширині). Назва має бути стислою і відбивати зміст таблиці. Номер таблиці повинен складатися з номера розділу і порядкового номера таблиці, між якими ставиться крапка, наприклад: «Таблиця 2.1» (перша таблиця другого розділу). При перенесенні частини таблиці на іншу сторінку пишуть слова «Продовження табл.» з вирівнюванням по правому краю. Назва таблиці не повторюється, але вказують номер таблиці. Наприклад: «Продовження табл. 2.1». Заголовки граф починаються з великих літер, підзаголовки – з малих, якщо складають одне речення із заголовком, і з великих – якщо вони є самостійними. Приклад оформлення таблиці наведено нижче (табл. 2.1).

У таблицях слід обов'язково зазначати одиницю виміру. Якщо всі одиниці виміру є однакові для всіх показників

таблиці, вони наводяться у заголовку. Одиниці виміру мають наводитися у відповідності до стандартів. Числові величини у таблиці повинні мати однакову кількість десяткових знаків. Залишати клітинки таблиці порожніми не допускається, за відсутності відомостей у клітинці ставляться прочерки.

Таблиця 2.1 – Концентрація забруднюючих речовин в стічних водах підприємства

Назва забруднюючої речовини	Середня концентрація, мг/дм³	Допустима до скиду концентрація, мг/дм³
Завислі речовини	173,8	227,7
Хлориди	105,6	215,6
Сульфати	234,3	440
Нітрити	0,22	0,55
Нітрати	4,51	10,12
Іон амонію	12,87	14,96
Нафта і нафтопродукти	0,869	4,4
Формальдегід	1,892	2,497
Фенол	0,308	0,33

У таблицях допускається застосування розміру шрифту 11–12 пунктів і одинарного міжрядкового інтервалу. Абзац (відступ першого рядка) у таблиці – 0. У рядку заголовків таблиці (шапки таблиці) рекомендується використовувати вирівнювання по центру. Стиль оформлення таблиць у тексті роботи має бути єдиним. Використання фотографій або скріншотів таблиць у курсовій роботі не допускається.

Решта ілюстративного матеріалу (графіки, схеми, діаграми, фотографії, карти тощо) позначаються у роботі як рисунки.

Рисунки необхідно подавати в курсовій роботі безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці. Рисунки, розміщені на окремих сторінках роботи, включають до загальної нумерації сторінок. Вирівнювання

рисунка – по центру аркуша. Рисунки позначають словом «Рисунок» і нумерують послідовно в межах розділу, за винятком рисунків, поданих у додатках. Номер рисунка повинен складатися з номера розділу і порядкового номера, між якими ставиться крапка. Наприклад: Рисунок 2.1. (перший рисунок другого розділу). Номер рисунка, його назву і пояснювальні підписи розміщують безпосередньо під ним з нового рядка без абзацного відступу по центру. Приклад оформлення рисунка наведений на рис. 2.1.

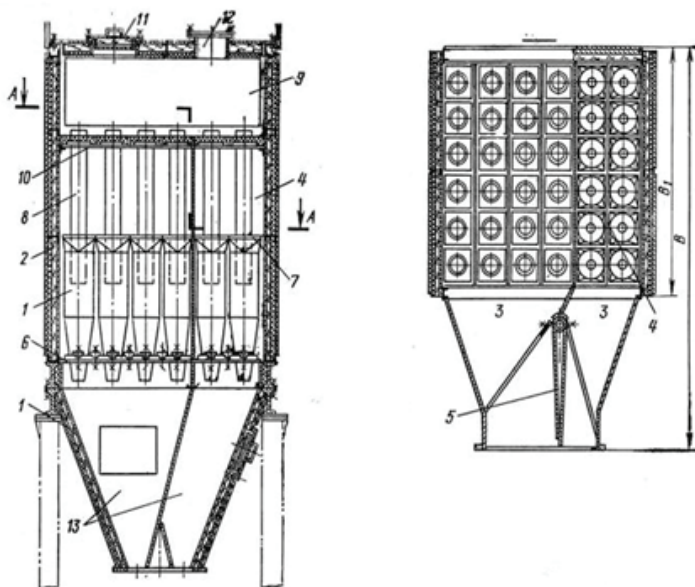


Рисунок 2.1 – Схема батарейного циклону:

- 1 – циклон; 2 – кожух; 3 – підвідний патрубок; 4 – розподільна камера;
 5 – перекидний шибер; 6 – решітка; 7 – чавунний корпус; 8 – сталевий патрубок;
 9 – вихідна камера; 10 – сталеві ґрати; 11 – лаз; 12 – вибуховий клапан;
 13 – бункер

Назва та підпис рисунка не переносяться на наступну сторінку відносно самого рисунка. При розташуванні графічного

матеріалу у роботі слід уникати великого порожнього простору у тексті. Якщо таблиця або рисунок не вміщуються повністю на аркуші і при перенесенні його на наступну сторінку утворюється порожній простір на аркуші, слід змінити розміри графічного матеріалу (зменшити, збільшити), або, при перенесенні матеріалу на наступну сторінку, заповнити порожній простір текстом. При цьому сам рисунок повинен залишатися чітким, а всі підписи та позначення на ньому розбірливі.

Великі таблиці та рисунки доцільно виносити до додатків.

Формули зазвичай розташовуються окремими рядками по центру аркуша. Формули хімічних речовин можна навести всередині текстових рядків.

Набір формул має бути по всій роботі одноманітним щодо шрифтів, знаків, індексів і лінійок, що застосовуються. Формули слід нумерувати, якщо на них є посилання у попередньому або наступному тексті. Формули в курсовій роботі нумерують в межах розділу. Номер формули складається із номера розділу і порядкового номера формули, між якими ставлять крапку. Номер формули пишуть біля правого поля листа на рівні відповідної формули у круглих дужках. Пояснення значень символів, числових коефіцієнтів у формулах треба подавати безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони дані в формулі, і кожне – з нового рядка. Перший рядок пояснення починають зі слова «де» без двокрапки. Наприклад:

$$M = 10^{-3} \cdot q_i \cdot T \cdot m, \quad (2.2)$$

де q_1 – питомий показник пилоутворення на одиницю обладнання, кг/год;

T – час роботи технологічного обладнання, год/рік;

m – число одиниць обладнання, шт.

При посиланнях на якусь формулу її номер ставлять точно у тій самій графічній формі, як і після формули, тобто, арабські цифри в круглих дужках. Наприклад: «...у формулі (3.7)»; «...з рівняння (2.5) випливає...» тощо.

У формулах при необхідності можуть бути використані надрядкові та підрядкові шрифти, наприклад, при написанні формул хімічних речовин ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), математичних формул або одиниць виміру (м^3 , 10⁻⁶). При оформленні формул рекомендується використовувати редактор формул, вбудований або сумісний із текстовим редактором.

Терміни по всій роботі мають бути уніфікованими. Між цифрами й назвами одиниць (грошових, метричних тощо) слід ставити нерозривний пробіл. Скорочення часових одиниць (год., хв.) писати з крапкою, метричних (грн, млн, млрд, т, ц, м, км тощо) писати без крапки. Якщо в тесті є аббревіатура, то подавати її необхідно в дужках при першому згадуванні.

Якщо в проєкті прийнято особливу систему скорочень слів, найменувань, то перелік прийнятих скорочень має бути наведений у структурному елементі «Позначення та скорочення» після розділу «Зміст».

При посиланнях на структурну частину тексту зазначаються номери розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів, перерахувань, графічного матеріалу, формул, таблиць, додатків, а також граfi та рядки таблиць. При посиланнях слід написати: «... відповідно до розділу 2 даної курсової роботи», «... відображено на рис. 2.1», «(рис. 2.1)», «у табл. 2.1 наведено...», «(табл. 2.4)», «... наведено у додатку Б».

При виконанні курсової роботи необхідно робити посилання на джерела використаної інформації (зокрема електронні ресурси). Посилання може бути як на цитату, так і на запозичений, але перероблений студентом текст з інформаційного джерела. Посилання подається в квадратних дужках в кінці речення після використання цитати. У дужках вказується порядковий номер джерела у списку використаних джерел, наприклад: [5], у працях [5–7].

Список джерел містить відомості про всі літературні, електронні та нормативні джерела, що використовуються при написанні курсової роботи. При використанні як джерела

інформації нормативних документів обов'язкова вимога – їх актуальність. Усі закони, постанови, накази, нормативні акти мають бути оформлені із зазначенням останніх прийнятих редакцій цих документів. Особливу увагу слід звернути на написання дат в описі документів (дати прийняття документів, редакцій): формат дат необхідно витримувати в єдиному стилі. Наприклад, для всіх документів: 01.09.2021, або 01.09.2021 р., або 1 вересня 2021 року.

Додатки розміщуються у порядку появи посилань на них у тексті курсової роботи. Кожен додаток повинен починатися з нової сторінки, мати заголовок, надрукований угорі з великої літери симетрично до тексту. З правого боку рядка над заголовком малими літерами з першою великою друкується слово «Додаток ...» і велика літера, що позначає додаток. Додаток слід позначати послідовно великими літерами українського алфавіту, за винятком літер І, Є, І, Ї, Й, О, Ч, Ъ.

Презентація є обов'язковим елементом курсової роботи. Вимоги до оформлення презентації наступні. Фон слайдів повинен бути нейтральний, без яскравих елементів, що відволікають. Шрифт – чіткий, читабельний (наприклад, Times New Roman, Arial, Calibri), розмір щонайменше 18–20 pt. Текст на слайдах без орфографічних та пунктуаційних помилок. Колір тексту – контрастний по відношенню до фону. Слайди не повинні бути перевантажені текстом, не більше 5–7 рядків на один слайд. Графіки, таблиці, діаграми, фото, ілюстрації – тільки за темою дослідження та гарної якості. Обов'язковою є нумерація слайдів. Кількість слайдів – 10–15, залежно від глибини розкриття теми.

3 ПОРЯДОК ЗАХИСТУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Заключним етапом є захист курсової роботи. Захист курсових робіт відбувається до початку екзаменаційної сесії за складеним кафедрою графіком. Графік має бути розміщений на інформаційних ресурсах кафедри. Проміжні результати курсової роботи можна також доповісти на студентських наукових конференціях.

Виступ студента на захисті курсової роботи – це коротка, чітка та логічно побудована доповідь суті його дослідження з використанням підготовленої презентації. Такий виступ має показати, що студент розуміється на темі, вміє узагальнювати інформацію та робити висновки.

Для доповіді студенту дається не більше 5–7 хвилин. Тому конспект доповіді має включати тільки саму суть дослідження, теоретичне і практичне значення нового наукового результату. Бажано не читати доповідь з листа. В доповіді не слід звертати багато уваги на історію питання, детально аналізувати літературні джерела. Все це потрібно висвітлити стисло, але виразно, щоб усім присутнім стало зрозумілим, що студент добре розбирається в методиці дослідження.

При складанні доповіді слід звернути особливу увагу на якість викладання одержаних результатів. Мова доповідача повинна бути виразною, граматично правильною, впевненою. Лише ці якості зроблять доповідь суворо науковою, добре аргументованою.

Після публічного захисту курсової роботи студент отримує остаточну оцінку по 100-бальній системі, яка заноситься

в екзаменаційну відомість. На оцінку за курсову роботу впливають: якість виконання курсової роботи, компетентність, уміння стисло і чітко викласти результати дослідження, якісно їх презентувати, аргументовано відповісти на поставлені запитання під час захисту (табл. 3.1, табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Розподіл балів за виконання курсової роботи

Пояснювальна записка	Презентація	Захист роботи	Сума балів
до 40 балів	до 20 балів	до 40 балів	100

Таблиця 3.2 – Параметри та критерії оцінювання виконання курсової роботи за 100-бальною шкалою

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання
1	2	3
Пояснювальна записка	40	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; адекватність обраних методів предмету дослідження, грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); використання методів математичної статистики; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку науковому керівнику у відповідності із планом виконання курсової роботи.
	35	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; визначення ступеню розробленості проблеми

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
		дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; адекватність обраних методів предмету дослідження, грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); використання методів математичної статистики; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	30	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	20	Робота, оформлена за вимогами, які пред'являються до курсових робіт, але має недостатньо критичний аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Основні тези роботи розкриті, але недостатньо 23 обґрунтовані, нечітко сформульовано висновки, пропозиції і рекомендації.
	15	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
	5	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає вимогам, які пред'являються до курсових робіт. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
Презентація	20	Презентація гарно організована, доповідь супроводжується ілюстративними матеріалами, підготовленими відповідно до вимог що висуваються.
	15	Презентація гарно організована, доповідь супроводжується ілюстративними матеріалами, на які не завжди дано посилання у доповіді або ілюстративні матеріали оформлені з незначними зауваженнями;
	10	Ілюстративні матеріали низької якості, в організації презентації спостерігається невпевненість
	5	Ілюстративні матеріали низької якості, в доповіді немає посилань на ілюстративні матеріали.
Захист роботи	40	Доповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає основні результати дослідження, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції по темі дослідження, під час доповіді вміло використовує презентацію, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання.
	35	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, дає правильні відповіді на всі запитання, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює.
	30	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, належно обґрунтовує положення роботи, але допускає неточності у відповідях на запитання.
	25	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання, не завжди належно обґрунтовує положення роботи.

Кінець таблиці 3.2

	20	Студент неупорядковано викладає основні результати дослідження, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення роботи.
	15	Студент неупорядковано викладає основні результати дослідження робить спроби аргументувати положення роботи, надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання.
	10	Студент демонструє задовільні знання з теми дослідження, але не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії, та належно обґрунтувати положення роботи.
	5	Студент неупорядковано викладає основні результати дослідження, не спроможний дати відповідь на запитання, відстоювати свою позицію.

Курсова робота не допускається до захисту, якщо:

- не відповідає встановленим вимогам щодо змісту та оформлення;
- порушений термін подання завершеної курсової роботи (проекту) науковому керівнику або на кафедрі;
- не має схвальної оцінки наукового керівника.

4 РЕКОМЕНДОВАНІ ТЕМАТИЧНІ НАПРЯМКИ КУРСОВИХ РОБІТ

Тема курсової роботи обирається спільно студентом та керівником. Вибір теми може бути пов'язаний з вирішенням окремої специфічної екологічної задачі або розглядатися як елемент розв'язання комплексного завдання, наприклад, у рамках розвитку науково-дослідної роботи студента. В окремих випадках тема курсової роботи може визначатися можливими видами трудової діяльності та практичними інтересами студента під час освоєння дисципліни.

Рекомендовано наступні теми курсових робіт з навчальної дисципліни «Техноекологія»:

1. Визначення складу забруднень котельної.
2. Визначення складу забруднень гальванічного виробництва.
3. Визначення складу забруднень зварювального цеху.
4. Визначення складу забруднень механічного цеху.
5. Визначення складу забруднень малярного цеху.
6. Визначення складу забруднень ковальсько-пресового цеху.
7. Визначення складу забруднень цементного виробництва.
8. Визначення складу забруднень виробництва цегли.
9. Визначення складу забруднень нафтобази.
10. Визначення складу забруднень меблевої фабрики.
11. Визначення складу забруднень виробництва вапна.
12. Визначення складу забруднень сміттєспалювального заводу.

13. Визначення складу забруднень теплової електростанції.
14. Визначення складу забруднень текстильної фабрики.
15. Визначення складу забруднень шкіряного виробництва.
16. Визначення складу забруднень нафтопереробного заводу.

17. Визначення складу забруднень виробництва мінеральних добрив.

18. Визначення складу забруднень доменного цеху.
19. Визначення складу забруднень конвертерного цеху.
20. Визначення складу забруднень ливарного цеху.
21. Визначення складу забруднень м'ясокомбінату.
22. Визначення складу забруднень автопідприємства.
23. Визначення складу забруднень цукрового заводу.
24. Визначення складу забруднень глиноземного заводу.
25. Визначення складу забруднень виробництва мінеральних добрив.

26. Оцінка техногенної дії промислового підприємства на атмосферне повітря.

27. Аналіз екологічної безпеки автомобільного транспорту в місті.

28. Викиди та шляхи зниження забруднюючих речовин на ТЕЦ (або іншому енергооб'єкті).

29. Дослідження впливу відходів виробництва на стан ґрунтів.

30. Розрахунок та оцінка рівня забруднення водного об'єкта стічними водами.

31. Екотоксикологічна оцінка діяльності хімічного підприємства.

32. Застосування технологій уловлювання та утилізації викидів на підприємстві.

33. Розробка заходів щодо рекультивації забруднених територій.

34. Порівняльний аналіз ефективності систем очищення промислових викидів.

35. Розрахунок вуглецевого сліду та пропозиції щодо його зниження на підприємстві.

36. Аналіз впливу будівництва та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури на довкілля.

37. Екологічна оцінка підприємств агропромислового комплексу.

38. Техноекоекологічна характеристика процесів видобутку корисних копалин (кар'єри, шахти, свердловини).

39. Вплив звалищ та полігонів твердих побутових відходів на компоненти довкілля.

40. Вплив енергетичних установок на біосферу: приклади та шляхи зниження впливу.

41. Вплив будівельних майданчиків на стан атмосферного повітря та заходи щодо його захисту.

42. Використання альтернативних джерел енергії як засіб зниження техногенного навантаження.

43. Комплексна оцінка стану довкілля у зоні впливу автотранспортного вузла.

44. Оцінка життєвого циклу продукції з позицій екологічного сліду підприємства.

45. Вплив нанотехнологій та нових матеріалів на навколишнє середовище: ризики та перспективи.

5 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

5.1 Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів під час спалювання органічного палива в енергетичних установках

Розрахунок викидів основних забруднюючих речовин та парникових газів, що надходять в атмосферне повітря з димовими газами, які утворюються під час спалювання органічного палива в енергетичних установках виконуються за методикою ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок». Даний керівний документ є чинним в Україні з 2002 року [5]. Межі використання методики поширюються на котли та камери згоряння газотурбінних установок, які розміщені на теплових електричних станціях та котельнях і працюють на твердому, рідкому та газоподібному паливі.

За цією методикою визначаються такі забруднюючі 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 .

Розрахункові методи визначення викиду забруднюючої речовини базуються на використанні показника емісії. Показник емісії характеризує масову кількість забруднювальної речовини, яка викидається енергетичною установкою

в атмосферне повітря разом з димовими газами, віднесену до одиниці енергії, що виділяється під час згоряння палива. Він залежить від багатьох чинників. Існують два показники емісії – узагальнений та специфічний.

Узагальнений показник емісії забруднюючої речовини є середньою питомою величиною викиду для певної категорії енергетичних установок, певної технології спалювання палива, певного виду палива з урахуванням заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини. Він не враховує особливостей хімічного складу палива.

Специфічний показник емісії є питомою величиною викиду, яка визначається для конкретної енергетичної установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини.

При наявності обох показників емісії забруднюючої речовини необхідно використовувати специфічний.

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:

$$E_j = \sum_j E_{ji} = 10^{-6} \sum_j k_{ji} B_i (Q_i^r), \quad (5.1)$$

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.

Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок

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

$$k_{\text{TB}} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{\text{вин}} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{\text{вин}}} (1 - \eta_{\text{зу}}) + k_{\text{TBС}} \quad (5.2)$$

або

$$k_{\text{TB}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \left(a_{\text{вин}} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_C} \right) (1 - \eta_{\text{зу}}) + k_{\text{TBС}}, \quad (5.3)$$

де k_{TB} – 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, %;

$k_{\text{TBС}}$ – 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 $G_{\text{вин}}$ 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) 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 табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – 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	–
З бульбашковим киплячим шаром	0,20	–
З нерухомим шаром	0,15	–

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 сульфідів $k_{\text{твS}}$, г/ГДж, розраховується за формулою

$$k_{\text{твS}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{S^r}{100} \left[\eta_I \frac{\mu_{\text{прод}}}{\mu_S} + (m - \eta_I) \frac{\mu_{\text{сорб}}}{\mu_S} \right] a_{\text{вин}} (1 - \eta_{\text{зу}}), \quad (5.4)$$

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 (табл. 5.2);

η_I – ефективність зв'язування сірки сорбентом у топці або при застосуванні сухих та напівсухих методів десульфурізації димових газів (табл. 5.2, табл. 5.3);

$\eta_{\text{зу}}$ – ефективність очистки димових газів від твердих частинок.

Таблиця 5.2 – 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	Те саме
Спалювання в киплячому шарі	0,95	Зв'язування сорбентом у котлі при мольному відношенні $\text{Ca/S } m = 2,5$

Таблиця 5.3 – Ефективність та коефіцієнт роботи сірко-очисної установки

Технологія десульфуризації димових газів	Параметри сіркоочисної установки	
	η_{Π}	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

Діоксид сірки SO_2

Показник емісії k_{SO_2} , г/ГДж, оксидів сірки SO_2 та SO_3 , у перерахунку на діоксид сірки SO_2 , які надходять у атмосферу з димовими газами, є специфічним і розраховується за формулою

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_i)(1 - \eta_{\Pi}\beta), \quad (5.5)$$

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 [5, додаток 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 табл. 5.2.

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 табл. 5.3.

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 табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – 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
1	2	3	4
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
0,09	0,0155	0,0190	0,0275

Продовження таблиці 5.4

1	2	3	4
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

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

$$k_{\text{NO}_x} = (k_{\text{NO}_x})_0 f_n (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \quad (5.6)$$

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.

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 табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – 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 шлаковида- ленням при спалюванні антрациту	420	–	–	–
з рідким шлаковида- ленням при спалюванні кам'яного вугілля	250	–	–	–
з твердим шлаковида- ленням при спалюванні кам'яного вугілля	230	–	–	–
Теплова потужність котла < 300 МВт:		140	–	100
з рідким шлаковида- ленням при спалюванні антрациту	250	–	–	–
з рідким шлаковида- ленням при спалюванні кам'яного вугілля	180	–	–	–
з твердим шлаковида- ленням 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

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

$$f_n = (Q_\phi / Q_n)^z, \quad (5.7)$$

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 за формулою

$$Q = D_0 \frac{1}{w}, \quad (5.8)$$

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 табл. 5.6.

Емпіричний коефіцієнт z визначається під час випробувань енергетичної установки. За їх відсутності значення z береться з табл. 5.7.

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

Таблиця 5.6 – Значення відношення паропродуктивності 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

Таблиця 5.7 – Значення емпіричного коефіцієнта z

Теплова потужність (паропродуктивність) 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

застосування первинних заходів η_i , 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 табл. 5.8.

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_{ii} 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 табл. 5.9.

Таблиця 5.8 – Ефективність первинних заходів η_I скорочення викиду NO_x

Тип первинних заходів	Ефективність η_I
Малотоксичні пальники	0,20
Ступенева подача повітря	0,30
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 5.9 – Ефективність та коефіцієнт роботи азотної установи NO_x

Технологія очищення димових газів від NO_x	Ефективність η_{II}	Коефіцієнт роботи β
Селективне некаталітичне відновлення (CHKB)	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.

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.

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

$$k_{\text{в.м.}} = \frac{c_{\text{в.м.}}}{Q_i^r} \left[a_{\text{вин}} f_{\text{зб}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_{\text{г}}) + f_{\text{г}} (1 - \eta_{\text{гзу}}) \right], \quad (5.9)$$

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

Частка золи $a_{\text{вин}}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, залежить від технології спалювання палива (див. табл. 5.1).

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 $c_{\text{в.м.}}$ визначають згідно з табл. 5.10.

Таблиця 5.10 – Вміст важких металів $c_{\text{в.м.}}$ в 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 ГР	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

Коефіцієнт збагачення f_{36} 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_{36} наведено в табл. 5.11. Ці значення застосовуються у випадку відсутності даних для конкретних видів і марок твердого палива, яке спалюється в енергетичній установці.

Таблиця 5.11 – Коефіцієнт збагачення важких металів після золоуловлювача f_{36}

	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

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 табл. 5.12.

Таблиця 5.12 – 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

Ефективність уловлювання твердих частинок золоуловлювальною установкою η_{3y} залежить від типу очисного обладнання, встановленого на енергетичній установці, наприклад електростатичного фільтра, рукавного фільтра, мокрого скрубера чи батарейного циклона.

Ефективність уловлювання газоподібних важких металів $\eta_{\text{гзу}}$ 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 $\eta_{\text{гзу}}$ в електрофільтрах наведено в табл. 5.13.

Таблиця 5.13 – Ефективність уловлювання газоподібної фракції важкого металу золоуловлювальною установкою під час спалювання твердого палива

Золоуловлювальна установка	Ефективність
Електростатичний фільтр	0,35
Інші	0

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

$$k_v = \frac{c_v}{Q_i'} (1 - \eta_{\text{ос}}) (1 - \eta_{\text{зy(v)}}), \quad (5.10)$$

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

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

$\eta_{\text{ос}}$ – частка ванадію, який осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котла;

$\eta_{\text{зy(v)}}$ – 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

$$c_v = 2222 A^r, \quad (5.11)$$

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 табл. 5.14.

Таблиця 5.14 – 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

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

$$\eta_{zy(v)} = 1 - \frac{1 - \eta_{zy}}{f_v}, \quad (5.12)$$

де η_{zy} – ефективність очищення димових газів від твердих частинок (див. формули (5.2), (5.3);

f_v – емпіричний коефіцієнт, який враховує ефект «збагачення» ванадієм золи, яка виходить після золоуловлювальної установки, і залежить від типу золоуловлювальної установки (табл. 5.15).

Таблиця 5.15 – Значення емпіричного коефіцієнта f_v для розрахунку ефективності уловлювання ванадію золоуловлювальною установкою

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

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:

$$\eta_{zy(V)} = 3,1277\eta_{zy}^2 - 1,4948\eta_{zy} - 0,1412, \quad (5.13)$$

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

η_{zy} – ефективність очищення димових газів від твердих частинок.

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:

$$k_{V_2O_5} = k_v \frac{\mu_{V_2O_5}}{2\mu_v} = k_v \frac{182}{2 \cdot 51} \cong 1,8k_v, \quad (5.14)$$

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.

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

$$k_{\text{Hg}} = (k_{\text{Hg}})_0 (1 - \eta_{\text{гзу}}), \quad (5.15)$$

де $(k_{\text{Hg}})_0$ – показник емісії ртуті без використання золоуловлювальної установки, г/ГДж. Значення $(k_{\text{Hg}})_0$ під час спалювання природного газу наведено в табл. 5.16;

$\eta_{\text{гзу}}$ – ефективність уловлювання ртуті в золоуловлювальній установці (табл. 5.13).

Таблиця 5.16 – 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

Оксид вуглецю СО

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

За відсутності постійних вимірювань концентрації СО валовий викид оксиду вуглецю визначається за формулою (5.1).

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксиду вуглецю може бути визначено на основі результатів випробувань енергетичної установки, документально підтверджених відповідними актами. Значення узагальненого показника емісії оксиду вуглецю залежно від виду

палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання визначаються з табл. 5.17.

Таблиця 5.17 – 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 згорання ГТУ	–	15	15

Діоксид вуглецю CO_2

Діоксид вуглецю (вуглекислий газ CO_2) відноситься до парникових газів і є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного палива. Обсяг викиду CO_2 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

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C = 3,67 k_C \cdot \varepsilon_C, \quad (5.16)$$

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

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

ε_C – ступінь окислення вуглецю палива.

k_C – показник емісії вуглецю палива, г/ГДж.

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

$$\varepsilon_c = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left(a_{\text{вин}} \frac{\Gamma_{\text{вин}}}{100 - \Gamma_{\text{вин}}} + (1 - a_{\text{вин}}) \frac{\Gamma_{\text{шл}}}{100 - \Gamma_{\text{шл}}} \right), \quad (5.17)$$

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;
 $\Gamma_{\text{вин}}$ – масовий вміст горючих речовин у виносі твердих частинок, %;
 $\Gamma_{\text{шл}}$ – масовий вміст горючих речовин у шлаку, %.

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

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

$$k_c = \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r}, \quad (5.18)$$

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 табл. 5.18.

Таблиця 5.18 – Показник емісії вуглецю палива k_c , г/ГДж

Паливо	Значення
Вугілля:	
антрацит	28 160
пісче	26 050
газове та довгополуменеве	25 180
буре	25 630
Мазут	21 100
Природний газ	15 300

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.

Оксид діазоту N_2O

Оксид діазоту (або оксид азоту (I)) N_2O відноситься до парникових газів. За відсутності постійних вимірювань концентрації N_2O валовий викид оксиду діазоту визначається за формулою (5.1). Значення узагальненого показника емісії N_2O залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання наведено в табл. 5.19.

Таблиця 5.19 – 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

Метан CH_4

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 (5.1). Значення узагальненого показника емісії метану залежно від виду палива наведено в табл. 5.20.

Таблиця 5.20 – Показник емісії метану CH_4 , г/ГДж

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

5.2 Приклад виконання розрахунку

Вихідні дані. Розглядається енергоблок з котлом, призначеним для факельного спалювання вугілля з високим вмістом летких сполук (типу газового або довгополуменового) з рідким шлаковидаленням. Номінальна паропродуктивність котла енергоблоку становить 850 т/год, а середня фактична паропродуктивність – 680 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:

- кам'яне вугілля марки ГР – 980956 т;
- високосірчистий мазут марки 40 – 63477 т;
- природний газ – 75840 тис. м^3 .

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 %.

Склад горючої маси мазуту такий: 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.

Об’ємний склад сухої маси природного газу становить: метан (CH_4) – 98,90 %; етан (C_2H_6) – 0,12 %; пропан (C_3H_8) – 0,011 %; бутан (C_4H_{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.

Теплову потужність парового котла визначаємо за формулою (5.8) і згідно з табл. 5.6. При номінальній паропроductивності 850 т/год парова потужність становить $850/1,35 = 630$ МВт; при середній фактичній паропроductивності 680 т/год – $680/1,35 = 504$ МВт.

Розрахунок викидів під час спалювання вугілля

При використанні вугілля потрібно розраховувати викиди оксидів азоту, сірки і вуглецю, твердих частинок та важких металів, а також N_2O та CH_4 .

Валовий викид оксидів азоту

Узагальнений показник емісії оксидів азоту k_{NOx} розраховується за формулою (5.6):

$$k_{\text{NOx}} = (k_{\text{NOx}})_0 f_{\text{H}} (1 - \eta_{\text{I}}) (1 - \eta_{\text{II}} \beta).$$

Показник емісії оксидів азоту кам’яного вугілля без урахування заходів зі зменшення викидів $(k_{\text{NOx}})_0$ становить 250 г/ГДж (див. табл. 5.5). Як видно з табл. 5.7, 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 табл. 5.8 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_{NOx} оксидів азоту

$$k_{\text{NOx}} = 250 \cdot \left(\frac{504}{630} \right)^{1,15} \cdot (1 - 0,40) = 116 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (5.1) валовий викид оксидів азоту буде дорівнювати

$$E_{\text{NOx}} = 10^{-6} k_{\text{NOx}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 116 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 2329,30 \text{ т.}$$

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 (5.5):

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

Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом у енергетичній установці η_{II} (див. табл. 5.2) становить 0,05. Сірчоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії оксиду сірки буде дорівнювати:

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

Тоді за формулою (5.1) валовий викид сірчистого ангідриду:

$$E_{\text{SO}_2} = 10^{-6} k_{\text{SO}_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 2646 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 53132,13 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними табл. 5.17 показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 11,4 г/ГДж. Тоді за формулою (5.1) валовий викид оксиду вуглецю E_{CO} :

$$E_{\text{CO}} = 10^{-6} k_{\text{CO}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 11,4 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 228,91 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу при спалюванні органічного палива визначається за формулою (5.16):

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

При рідкому шлаковидаленні частка золи, яка видаляється у вигляді леткої золи $a_{\text{вин}}$, становить 0,8 (див. табл. 5.1). 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 (5.17):

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

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{25,20}{52,49} \left(0,8 \frac{1,5}{100 - 1,5} + (1 - 0,8) \frac{0,5}{100 - 0,5} \right) = 0,994.$$

Показник емісії вуглекислого газу буде дорівнювати

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{52,49}{100} \cdot \frac{10^6}{20,47} \cdot 0,994 = 93409 \text{ г/ГДж}.$$

Тоді за формулою (5.1) валовий викид вуглекислого газу:

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} k_{\text{CO}_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 93409 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 1875668,54 \text{ т}.$$

Валовий викид твердих частинок

Показник емісії твердих частинок визначається як специфічний і розраховується за формулою (5.2):

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

Сіркоочисна 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 (5.1) валовий викид твердих частинок:

$$E_{\text{ТВ}} = 10^{-6} k_{\text{ТВ}} Q_i' B = 10^{-6} \cdot 150 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 3012,03 \text{ т.}$$

Валовий викид важких металів

За даними табл. 5.10 вміст важких металів у робочій масі кам'яного вугілля марки ГР становить: свинець (Pb) – 14 мг/кг; ртуть (Hg) – 0,14 мг/кг; хром (Cr) – 47 мг/кг; нікель (Ni) – 26 мг/кг; мідь (Cu) – 29 мг/кг; цинк (Zn) – 40 мг/кг; арсен (As) – 20 мг/кг.

При спалюванні вугілля показник емісії важкого металу визначається за формулою (5.9):

$$k_{\text{в.м.}} = \frac{c_{\text{в.м.}}}{Q_i'} \left[a_{\text{вин}} f_{36} (1 - \eta_{3y}) (1 - f_{\Gamma}) + f_{\Gamma} (1 - \eta_{\Gamma 3y}) \right].$$

З наявних у вугіллі важких металів ртуть і арсен частково виходять з палива в газоподібному вигляді. За даними табл. 5.15 ця частка становить $f_{\Gamma} = 0,9$ (для Hg) і $f_{\Gamma} = 0,005$ (для As). Для решти важких металів вона дорівнює нулю. Ефективність уловлювання в золоуловлювальній установці газоподібної ртуті $\eta_{\Gamma 3y}$ дорівнює 0,35 (табл. 5.13). За даними табл. 5.11 визначаємо коефіцієнт збагачення важких металів при ефективності золоуловлювача 0,985:

Арсен (As): $f_{36} = 175 \cdot \eta - 167,75 = 175 \cdot 0,985 - 167,75 = 4,625$.

Хром (Cr): $f_{36} = 1$.

Мідь (Cu): $f_{36} = 60 \cdot \eta - 57,10 = 60 \cdot 0,985 - 57,10 = 2,0$.

Ртуть (Hg): $f_{36} = 1$.

Нікель (Ni): $f_{36} = 95 \cdot \eta - 90,75 = 95 \cdot 0,985 - 90,75 = 2,825$.

Свинець (Pb): $f_{36} = 175 \cdot \eta - 167,25 = 175 \cdot 0,985 - 167,25 = 5,125$.

Цинк (Zn): $f_{36} = 205 \cdot \eta - 195,55 = 205 \cdot 0,985 - 195,55 = 6,375$.

Розрахунок показників емісії та валових викидів кожного важкого металу наведено нижче:

$$k_{As} = \frac{20}{20,47} \left[0,8 \cdot 4,625 \cdot (1 - 0,985)(1 - 0,005) + 0,005(1 - 0,35) \right] = 0,057 \text{ г/ГДж},$$

$$E_{As} = 10^{-6} k_{As} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,057 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 1,144 \text{ т},$$

$$k_{Cr} = \frac{47}{20,47} \left[0,8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,985)(1 - 0) \right] = 0,028 \text{ г/ГДж},$$

$$E_{Cr} = 10^{-6} k_{Cr} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,028 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 0,562 \text{ т},$$

$$k_{Cu} = \frac{29}{20,47} \left[0,8 \cdot 2,0 \cdot (1 - 0,985)(1 - 0) \right] = 0,034 \text{ г/ГДж},$$

$$E_{Cu} = 10^{-6} k_{Cu} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,034 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 0,683 \text{ т},$$

$$k_{Hg} = \frac{0,14}{20,47} \left[0,8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,985)(1 - 0,9) + 0,9(1 - 0,35) \right] = 0,004 \text{ г/ГДж},$$

$$E_{Hg} = 10^{-6} k_{Hg} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,004 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 0,080 \text{ т},$$

$$k_{Ni} = \frac{26}{20,47} \left[0,8 \cdot 2,825 \cdot (1 - 0,985)(1 - 0) \right] = 0,043 \text{ г/ГДж},$$

$$E_{Ni} = 10^{-6} k_{Ni} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,043 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 0,863 \text{ т},$$

$$k_{Pb} = \frac{14}{20,47} \left[0,8 \cdot 5,125 \cdot (1 - 0,985)(1 - 0) \right] = 0,042 \text{ г/ГДж},$$

$$E_{Pb} = 10^{-6} k_{Pb} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,042 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 0,843 \text{ т},$$

$$k_{Zn} = \frac{40}{20,47} [0,8 \cdot 6,375 \cdot (1 - 0,985)(1 - 0)] = 0,149 \text{ Г/ГДж},$$

$$E_{Zn} = 10^{-6} k_{Zn} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,149 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 2,992 \text{ т.}$$

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O під час спалювання вугілля розраховується за даними табл. 5.19 та формулою (5.1):

$$E_{N_2O} = 10^{-6} k_{N_2O} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1,4 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 28,11 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання вугілля розраховується за даними табл. 5.20 та формулою (5.1):

$$E_{CH_4} = 10^{-6} k_{CH_4} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 20,47 \cdot 980956 = 20,08 \text{ т.}$$

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 табл. Е.1 (додаток Е). Склад робочої маси мазуту такий:

вуглець – $85,50 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 83,66 \text{ \%}$;

водень – $11,20 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 10,96 \text{ \%}$;

кисень та азот – $0,80 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 0,78 \text{ \%}$;

сірка – $2,50 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 2,45 \text{ \%}$;

зола – $0,15 \cdot (100 - 2,0)/100 = 0,15 \text{ \%}$;

ванадій (V) – $333,3 \cdot (100 - 2,0)/100 = 327,4 \text{ мг/кг.}$

Згідно з табл. Е.2 (додаток Е) нижча теплота згоряння з горючої маси Q_i^{daf} на робочу Q_i^r перераховується за формулою

$$Q_i^r = Q_i^{daf} \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 0,025W^r =$$

$$= 40,40 \frac{100 - 2,0 - 0,147}{100} - 0,025 \cdot 2,0 = 39,48 \text{ МДж/кг.}$$

Валовий викид оксидів азоту

Показник емісії оксидів азоту (k_{NO_x})₀ без урахування первинних заходів згідно з даними табл. 5.5 дорівнює 200 г/ГДж.

Відповідно до початкових даних і згідно з табл. 5.5 ефективність первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту η_{I} становить 0,40. Емпіричний коефіцієнт z дорівнює 1,25 (табл. 5.7). Азотоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{NO_x} оксидів азоту

$$k_{\text{NO}_x} = 200 \cdot \left(\frac{504}{630} \right)^{1,25} \cdot (1 - 0,40)(1 - 0) = 92,8 \text{ г/ГДж.}$$

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

$$E_{\text{NO}_x} = 10^{-6} k_{\text{NO}_x} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 92,8 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 232,56 \text{ т.}$$

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 (5.5):

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

Ефективність зв'язування оксидів сірки η_{I} за даними табл. 5.2 становить 0,05, а ефективність уловлювання оксидів сірки разом з твердими частинками в золоуловлювальній установці дорівнює нулю. Сірчоочисна установка відсутня, тому

ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії оксиду сірки буде дорівнювати

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{39,48} \cdot \frac{2 \cdot 2,45}{100} (1 - 0,05) = 1176 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (5.1) валовий викид оксиду сірки:

$$E_{SO_2} = 10^{-6} k_{SO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1176 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 2947,14 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними табл. 5.17 показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 15 г/ГДж. Тоді за формулою (5.1) валовий викид E_{CO} оксиду вуглецю

$$E_{CO} = 10^{-6} k_{CO} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 15 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 37,59 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу під час спалювання органічного палива визначається за формулою (5.16):

$$CO = \frac{44}{12} \cdot \frac{C}{100} \cdot \frac{10}{100} \varepsilon \text{ .}$$

Ступінь окислення вуглецю ε_C під час спалювання мазуту в енергетичній установці 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 (5.1) валовий викид вуглекислого газу

$$E_{CO_2} = 10^{-6} k_{CO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 76918 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 192762,04 \text{ т.}$$

Валовий викид твердих частинок

Показник емісії твердих частинок визначається як специфічний і розраховується за формулою (5.2):

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

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

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

Тоді за формулою (5.1) валовий викид твердих частинок:

$$E_{\text{ТВ}} = 10^{-6} k_{\text{ТВ}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 1,43 \text{ т.}$$

Валовий викид ванадію

Показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій розраховується за формулою (5.10):

$$k_v = \frac{c_v}{Q_i^r} (1 - \eta_{\text{ос}}) (1 - \eta_{\text{зу(V)}}).$$

Частка ванадію $\eta_{\text{ос}}$, який осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву, для котла з проміжними пароперегрівачами, очищення поверхонь яких провадиться під час зупинки, становить 0,07 (див. табл. 5.14). Емпіричний коефіцієнт f_v для електростатичних фільтрів становить 0,6 (див. табл. 5.15). Ефективність уловлювання ванадію електрофільтром під час спільного спалювання вугілля та мазуту

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

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 (5.1) валовий викид ванадію

$$E_V = 10^{-6} k_V Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,19 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 0,48 \text{ т.}$$

Показник емісії п'ятиоксиду ванадію за формулою (5.14)

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

За формулою (5.1) валовий викид п'ятиоксиду ванадію

$$E_{V_2O_5} = 10^{-6} k_{V_2O_5} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,34 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 0,85 \text{ т.}$$

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O під час спалювання мазуту розраховується за даними табл. 5.19 та формулою (5.1):

$$E_{N_2O} = 10^{-6} k_{N_2O} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,6 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 1,50 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання мазуту розраховується за даними табл. 5.20 та формулою (5.1):

$$E_{CH_4} = 10^{-6} k_{CH_4} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 3,0 \cdot 39,48 \cdot 63477 = 7,52 \text{ т.}$$

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/нм^3

Питома маса кожного індивідуального газу в сухому паливі визначається за формулами, наведеними в додатку Ж:

$$m_{CH_4} = 0,716 \cdot 0,01 \cdot 98,90 = 0,7081 \text{ кг/нм}^3,$$

$$m_{C_2H_6} = 1,342 \cdot 0,01 \cdot 0,12 = 0,0016 \text{ кг/нм}^3,$$

$$m_{C_3H_8} = 1,967 \cdot 0,01 \cdot 0,011 = 0,0002 \text{ кг/нм}^3,$$

$$m_{C_4H_{10}} = 2,593 \cdot 0,01 \cdot 0,01 = 0,0003 \text{ кг/нм}^3,$$

$$m_{N_8} = 1,250 \cdot 0,01 \cdot 0,90 = 0,0113 \text{ кг/нм}^3,$$

$$m_{CO_2} = 1,964 \cdot 0,01 \cdot 0,06 = 0,0012 \text{ кг/нм}^3.$$

Масовий елементний склад сухого газоподібного палива визначається за формулами (Ж.12)–(Ж.16), наведеними в додатку Ж:

$$C^{daf} = \frac{100}{0,723} \cdot \left(\frac{12 \cdot 1}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,7081 + \frac{12 \cdot 2}{12 \cdot 2 + 6} \cdot 0,0016 + \frac{12 \cdot 3}{12 \cdot 3 + 8} \cdot 0,0002 + \right. \\ \left. + \frac{12 \cdot 4}{12 \cdot 4 + 10} \cdot 0,0003 + 0,273 \cdot 0,0012 \right) = \\ = 73,67 \%,$$

$$H^{daf} = \frac{100}{0,723} \cdot \left(\frac{4}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,7081 + \frac{6}{12 \cdot 2 + 6} \cdot 0,0016 + \frac{8}{12 \cdot 3 + 8} \cdot 0,0002 + \right. \\ \left. + \frac{10}{12 \cdot 4 + 10} \cdot 0,0003 \right) = \\ = 24,65 \%,$$

$$N^{daf} = \frac{100}{0,723} \cdot 0,0113 = 1,56 \%,$$

$$O^{daf} = \frac{100}{0,723} \cdot 0,727 \cdot 0,0012 = 0,12 \%.$$

Таким чином, отримано значення масового елементного складу природного газу:

вуглець – $C^r = C^{daf} = 73,67 \%$;

водень – $H^r = H^{daf} = 24,65 \%$;

кисень – $O^r = O^{daf} = 0,12 \%$;

азот – $N^r = N^{daf} = 1,56 \%$.

Масова нижча теплота згоряння природного газу визначається за формулою

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

Масова витрата природного газу

$$B = B_v \cdot \rho_H = 75840 \cdot 10^3 \cdot 0,723 = 54832 \text{ т.}$$

Валовий викид оксидів азоту

Показник емісії оксидів азоту $(k_{\text{NO}_x})_0$ без урахування первинних заходів згідно з даними табл. 5.5 дорівнює 150 г/ГДж. У табл. 5.7 емпіричний коефіцієнт z для природного газу становить 1,25. Відповідно до вихідних даних та згідно з табл. 5.8 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_{NO_x} оксидів азоту

$$k_{\text{NO}_x} = 150 \cdot \left(\frac{504}{630} \right)^{1,15} \cdot (1 - 0,40) = 69,6 \text{ г/ГДж.}$$

Валовий викид оксидів азоту E_{NO_x} дорівнює

$$E_{\text{NO}_x} = 10^{-6} k_{\text{NO}_x} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 69,6 \cdot 45,75 \cdot 54832 = 174,60 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними табл. 5.17 показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 17 г/ГДж. Валовий викид оксиду вуглецю

$$E_{\text{CO}} = 10^{-6} k_{\text{CO}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 17 \cdot 45,75 \cdot 54832 = 42,65 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу під час спалювання органічного палива визначається за формулою (5.16). Ступінь окислення вуглецю ε_C під час спалювання природного газу в енергетичній установці становить 0,995. Показник емісії вуглекислого газу буде дорівнювати

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{73,67}{100} \cdot \frac{10^6}{45,75} \cdot 0,995 = 58716 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (5.1) валовий викид

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} k_{\text{CO}_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 58716 \cdot 45,75 \cdot 54832 = 147292,84 \text{ т.}$$

Валовий викид ртуті

Валовий викид ртуті під час спалювання природного газу розраховується за даними табл. 5.15 та формулою (5.1):

$$E_{\text{Hg}} = 10^{-6} k_{\text{Hg}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,0001 \cdot 45,75 \cdot 54832 = 0,00025 \text{ т.}$$

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O при спалюванні природного газу розраховується за даними табл. 5.19 та формулою (5.1):

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-6} k_{\text{N}_2\text{O}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 45,75 \cdot 54832 = 0,25 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання природного газу розраховується за даними табл. 5.20 та формулою (5.1):

$$E_{\text{CH}_4} = 10^{-6} k_{\text{CH}_4} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 45,75 \cdot 54832 = 2,51 \text{ т.}$$

Значення валових викидів всього розглянутого спектру забруднюючих речовин щодо кожного палива та загалом наведено в табл. 5.22.

Таблиця 5.22 – Валові викиди забруднюючих речовин, т

Викид	Вугілля	Мазут	Природний газ	Всього
1	2	3	4	5
SO_2	53132,13	2947,14	0	56079,27
NO_x	2329,30	232,56	174,60	2736,46
CO	228,91	37,49	42,65	309,05
CO_2	1875668,54	192762,04	147292,84	2215723,42
Тверді частинки	3012,03	1,43	0	3013,46
Pb	0,843	0	0	0,843
Hg	0,080	0	0,00025	0,08025

Продовження таблиці 5.22

1	2	3	4	5
Cr	0,562	0	0	0,562
Ni	0,863	0	0	0,863
Cu	0,683	0	0	0,683
Zn	2,992	0	0	2,992
As	1,144	0	0	1,144
V ₂ O ₅	0	0,85	0	0,85
N ₂ O	28,11	1,50	0,25	29,86
CH ₄	20,08	7,52	2,51	30,11

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Благодатний В.В., Рижков О.С., Нікольська В.Б. Розрахунок викидів забруднюючих речовин у атмосферу в енергетиці, металургії та машинобудуванні : методичні вказівки. Миколаїв : Вид-во О.С. Торубари, 2013. 48 с.
2. Благодатний В.В., Рижков О.С., Нікольська В.Б. Розрахунок викидів забруднюючих речовин у атмосферу у хімічній, видобувній та деревообробній промисловості : методичні вказівки. Миколаїв : Вид-во О.С. Торубари, 2013. 48 с.
3. Войцицький А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М. Техноекологія: підручник / за ред. В. М. Боголюбова. Київ : Аграрна освіта, 2009. 533 с.
4. Герасимов О.І. Теоретичні основи технології захисту навколишнього середовища: навчальний посібник / Одеський державний екологічний університет. Одеса : ТЕС, 2018. 228 с.
5. ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. [Чинний від 2002-07-01]. Науково-технологічний центр «Реактивелектрон» Національної академії наук України, 2002.
6. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання [Чинний від 2017-07-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
7. Залеський І.І. Методичні вказівки для виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Техноекологія» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Екологія», «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальностей 101

«Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної форми навчання. Рівне : НУВГП, 2020. 52 с.

8. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том. 1. Донецьк : Український науковий центр технічної екології, 2004. 183 с.

9. Іваненко О.І., Носачова Ю.В. Техноекологія : підручник. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2017. 294 с.

10. Караїм О.А. Техноекологія. Методичні вказівки до лабораторних робіт. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. 80 с.

11. Клименко М.О., Залеський І.І. Техноекологія : підручник. Рівне : НУВГП, 2010. 298 с.

12. Кулікова Д.В., Рудченко А.Г. Нормування антропогенного навантаження на природне середовище. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Дніпро : Національний гірничий університет, 2018. 68 с.

13. Мальований М.С., Боголюбов В.М., Шаніна Т.П. Техноекологія. Херсон : Олді+, 2018. 616 с.

14. Методичні вказівки до практичних занять та розрахункової роботи з дисципліни «Системи технологій та промислова екологія» для студентів усіх форм навчання спеціальності 101 «Екологія» / уклад.: Самойленко Н.М., Горбунова О.В., Аверченко В.І. Харків : НТУ «ХП», 2017. 28 с.

15. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище: навч. посібник / В.Ю. Некос, Н.В. Максименко, О.Г. Владимірова та ін. Київ : Кондор, 2007. 268 с.

16. Положення про курсову роботу (проект) у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова / Укладачі: А.В. Лабарткава, В.В. Савочкіна, В.В. Івата. Миколаїв : НУК, 2020. 8 с.

17. Промислова екологія : навчальний посібник / В.Л. Филипчук, М.О. Клименко, К.К. Ткачук, С.Б. Проценко, В.М. Радовенчик, І.І. Залеський. Рівне : НУВГП, 2013. 495 с.

18. Станкевич С.В., Головань Л.В. Техноекологія : навчальний посібник / Харків. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. Харків : Видавництво Іванченка І.С., 2020. 338 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Зразок титульного аркушу курсової роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кафедра екології та природоохоронних технологій

КУРСОВА РОБОТА

з навчальної дисципліни «Техноекологія»

на тему: **«ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ЗАБРУДНЕНЬ
ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»**

Студент III курсу 3271 групи
спеціальності Е2 Екологія

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

(посада, вчене звання, науковий ступень,

(прізвище та ініціали)

Кількість балів: _____. Оцінка: ECTS ____

м. Миколаїв – 20__ р.

Зразок бланку завдання на курсову роботу

Міністерство освіти і науки України

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кафедра екології та природоохоронних технологій

Дисципліна	«Техноекологія»		
Спеціальність	Е2 Екологія		
Курс	Група	Семестр	

**ЗАВДАННЯ
на курсову роботу**

Студенту _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема курсової роботи _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до курсової роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу _____

6. Дата видачі завдання _____

Студент _____
(підпис) (прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник роботи _____
(підпис) (вчений ступінь, посада, прізвище, ім'я, по батькові)

Зразок оформлення змісту курсової роботи

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1	
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ДОВКІЛЛЯ	5
1.1 Роль теплоенергетики у промисловій системі та її екологічна значимість	5
1.2 Основні джерела забруднення компонентів довкілля на ТЕС	7
1.3 Екологічні наслідки техногенного впливу ТЕС на довкілля	9
РОЗДІЛ 2	
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	11
2.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження	11
2.2 Принцип роботи ТЕС	12
2.3 Основні види палива, що використовуються на ТЕС	14
2.4 Екологічний стан прилеглої території	16
РОЗДІЛ 3	
ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ТА ОБСЯГІВ ЗАБРУДНЕНЬ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕС	18
3.1 Методика визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від енергетичних установок	18
3.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря	22

РОЗДІЛ 4	
РОЗРОБКА ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ НА ТЕС ..	25
4.1 Аналіз існуючих технологій очищення атмосферного повітря при експлуатації ТЕС	25
4.2 Рекомендації щодо впровадження нового очисного обладнання	27
4.3 Удосконалення технологічних процесів в контексті енергоефективності та ресурсозбереження	29
ВИСНОВКИ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33
ДОДАТКИ	35

Приклади оформлення бібліографічного опису у списку використаних джерел за ДСТУ 8302:2015

Книга одного автора

1. Іванова В. Д. Технологія виробництва продуктів бджільництва : курс лекцій. Миколаїв : МДАУ, 2009. 245 с.
2. Андріяш В. Державна етнополітика України в умовах глобалізації. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 328 с.
3. Бондаренко В. Г. Історія України. Львів, 2017. 153 с.
4. Parker J. Principles of scientific research. 7th ed. London : Editorial, 2017. 301 p.

Книга двох або трьох авторів

1. Батракова Т. І., Калюжна Ю. В. Банківські операції : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2017. 130 с.
2. Коваленко А. Д., Герасимчук О. П., Данилюк А. С. Міжнародне кредитування. 2-ге вид. Київ : Наука, 2018. 155 с.
3. Wilson D., Lister P., Andrews A. Modern surgery. Manchester : MAN, 2011. 240 p.

Книга чотирьох і більше авторів

1. Астрономія : навч. посіб. / І. А. Климишин та ін. Одеса : Астропринт, 2012. 352 с.
2. Інновації : навч. посіб. / Д. Т. Гуревич, О. С. Чекан, О. М. Грибан, В. В. Макарова. Запоріжжя : ЗНУ, 2016. 389 с.
3. The mutual fund industry: Competition and investor welfare / R. G. Hubbard et. al. New York, NY : Columbia University Press, 2010. 256 p.

Книга без зазначення автора (з редактором тощо)

1. Економічна енциклопедія / за ред. В. В. Шевченка. Київ : Альманах, 2016. 304 с.
2. Антологія української літературно-критичної думки першої половини ХХ століття / упоряд. В. Агеєва. Київ : Смолоскип, 2016. 904 с.

3. Routledge handbook of international statebuilding / ed. by D. Chandler, T. D. Sisk. London: Routledge, 2013. 448 p.

**Книга – окремий том (частина)
багатотомного видання**

1. Енциклопедія рослин / редкол.: І. М. Деркач та ін. Київ : ЦУЛ, 2016. Т. 8. 812 с.

2. Шишкін В. І. Судові системи країн світу: навч. посіб. : у 3 кн. Київ: Юрінком Інтер, 2001. Кн. 2. 336 с.

3. Дендрофлора України. В 12 т. Т. 2. Дикорослі та культивовані дерева і кущі. Вип. 1. Покритонасінні / Л. І. Перхоменко. Київ : Наукова думка, 2012. 200 с.

Частина книги (розділ тощо)

1. Ярошевич М. Б., Чубка О. М., Якимів О. І. Інструменти боргового фінансування суб'єктів підприємництва в Україні: правовий статус, структурна динаміка, податкові наслідки. Теорія та методологія формування інвестиційно-фінансової стратегії розвитку національного господарства : монографія / за ред. Л. М. Савчук, О. С. Череп. Дніпро, 2019. С. 55–89.

2. Коломоєць Т. О. Адміністративна деліктологія та адміністративна деліктність. Адміністративне право України : підручник / за заг. ред. Т. О. Коломоєць. Київ, 2009. С. 195–197.

3. Goehr L. The concept of opera. The Oxford handbook of opera/ed. by H. M. Greenwald. Oxford, 2014. P. 92–136.

Статті (публікації) в періодичних виданнях

1. Зайцева О. М. Варіантність у родовій категоризації іменників: (на матеріалі мовлення сучас. укр. телебачення). *Вісник Київського національного лінгвістичного університету. Серія «Філологія»*. 2018. Т. 21, № 1. С. 121–130.

2. Кольцова Я. І., Нікітін С. В. Одержання пористих склокристалічних матеріалів з використанням паливного шлаку. *Питання хімії та хімічної технології*. 2020. № 1. С. 33–38. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-128-1-33-38 (дата звернення: 05.06.2025).

3. Капируля М. Ядерний тероризм в сучасній міжнародній системі. *Актуальні проблеми міжнародних відносин*. 2008. Вип. 73, ч. 2. С. 66–68.

4. Chua N. Y., Lundbye J. Endovascular catheter as a rewarming method for accidental hypothermia. *Therapeutic hypothermia and temperature management*. 2012. Vol. 2, no. 2. P. 89–91. URL: <https://doi.org/10.1089/ther.2012.0001> (date of access: 06.06.2025).

5. Коваль Л., Коваль П. Переваги дистанційної роботи. *Урядовий кур'єр*. 2017. 1 листоп. (№ 205). С. 5.

6. Bletskan D. I., Glukhov K. E., Frolova V. V. Electronic structure of 2H-SnSe₂. *Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics*. 2017. Vol. 18, No 2. P. 109–118.

Дисертації

1. Наконечний А. Б. Примусове відчуження земельних ділянок за законодавством України : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.06. Одеса, 2015. 225 с.

2. Урба С. І. Пріоритети та інструменти розвитку аграрного сектора в системі забезпечення економічної безпеки України : дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.03. Львів, 2019. 562 с.

Автореферати дисертацій

1. Єргієва К. І. Фортепіанна гра як жанрово-комунікативний та інтерпретативно-стильовий феномен : автореф. дис. ... канд. мистецтвознавства : 17.00.03. Одеса, 2019. 17 с.

2. Кравчук В. М. Припинення корпоративних правовідносин в господарських товариствах : автореф. дис. ... д-ра юрид. наук : 12.00.03 Харків, 2010. 36 с.

Матеріали конференцій

1. Зінчук Т. О. Економічні наслідки впливу продовольчих органічних відходів на природні ресурси світу. *Органічне виробництво і продовольча безпека* : зб. матеріалів доп. учасн. II Міжнар. наук.-практ. конф. Житомир : Полісся, 2014. С. 103–108.

2. Цехмістров І. І., Перець І.П. Про бюджет. *Дослідження проблем в Україні очима молодих вчених* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 3–4 берез. 2016 р. Запоріжжя, 2016. С. 50–53.

3. Івченко В. О. Проблема правового регулювання імпичменту в Україні. *Актуальні проблеми сучасної науки і правоохоронної діяльності* : тези доп. учасників XXV Наук.-практ. конф. курсантів та студентів, м. Харків, 17 трав. 2018 р. / Харків. нац. ун-т внутр. справ. Харків, 2018. С. 35–36.

Електронні ресурси

1. Що таке органічні продукти і чим вони кращі за звичайні? Екологія життя : вебсайт. URL: <http://www.eco-live.com.ua/> (дата звернення: 02.05.2025).

2. Мар'їна О. Контент-стратегія бібліотек у цифровому середовищі. *Бібліотечний вісник*. 2016. № 4. С. 8–12. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bv_2016_4_4 (дата звернення: 26.05.2025).

3. APA Style Introduction. *Purdue University*. URL: https://owl.purdue.edu/owl/research_and_citation/apa_style/apa_style_introduction.html (date of access: 01.06.2025).

Законодавчі та нормативні документи

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.

2. Податковий кодекс України : Закон України від 19.05.2011 р. № 3393-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2011. № 48-49. Ст. 536.

3. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991р. № 1264-XII : станом на 15.11.2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12/ed20241115#Text> (дата звернення: 06.06.2025).

4. Про затвердження Вимог до оформлення кандидатської дисертації : наказ Міністерства освіти і науки від 12.01.2018 р. № 50. *Офіційний вісник України*. 2018. № 25. С. 139–141.

Патенти

1. Верстат для поздовжнього розпилювання круглих колод : пат. 123197 Україна : B27B 7/00. № u 2017 10306 ; заявл. 25.10.2017 ; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3. 4 с.

2. Рентгенодіагностичний препарат на основі конусно-променевого комп'ютерного томографа для обстеження кінцівок : пат. 140662 Україна : A61B 6/03, A61B 8/13, H05G 1/02, G03B 42/02, G01N 23/04. № u 2019 07999 ; заявл. 12.07.2019 ; опубл. 10.03.2020, Бюл. № 5 (кн. 1). 1 с.

Стандарти

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с.

2. ДСТУ ISO 14024:2018. Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та процедури. На заміну ДСТУ ISO 14024:2002. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 18 с.

3. ДСТУ ISO 6107-1:2004. Якість води. Словник термінів. Частина 1 (ISO 6107-1:1996, IDT). [Чинний від 2005-04-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 181 с.

Зразок оформлення першого слайду презентації до курсової роботи

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кафедра екології та природоохоронних технологій

КУРСОВА РОБОТА

з навчальної дисципліни «Техноекologia»

на тему «ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ЗАБРУДНЕНЬ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»

Виконав: студент групи 3271

спеціальності Е2 Екологія

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник:

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

Миколаїв 20 ____ рік

Зразок оформлення другого слайду презентації до курсової роботи

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теплові електростанції (ТЕС) є одним з основних джерел енергозабезпечення, проте їхня діяльність супроводжується значними екологічними ризиками. Викиди в атмосферу, забруднення води та накопичення відходів негативно впливають на довкілля та здоров'я населення. Визначення складу цих забруднень є ключовим етапом у розробці ефективних заходів контролю та зменшення шкідливого впливу.

МЕТА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Дослідити склад забруднень, що утворюються в процесі роботи теплової електростанції, та оцінити їхній вплив на навколишнє середовище.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Процеси утворення і викиду забруднюючих речовин на тепловій електростанції.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Склад та характеристики забруднень, що виникають в результаті експлуатації ТЕС.

ЗАВДАННЯ

- Проаналізувати принципи роботи ТЕС та основні джерела забруднень.
- Розглянути види шкідливих речовин, що виділяються у довкілля.
- Ознайомитися з методами визначення складу забруднень.
- Провести оцінку впливу забруднень на екосистему.
- Надати пропозиції щодо зменшення негативного впливу ТЕС.

Перерахунок характеристик палива

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

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

Таблиця Е.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 Е.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.

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

$$Q_i^{r*} = Q_i^r - Q_c (1 - \epsilon_c), \quad (E.1)$$

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.

Таблиця Е.2 – Перерахунок теплоти згоряння палива

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

Примітка. – 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 вологи 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, %.

Перерахунок характеристик газоподібного палива

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

– склад – метан (CH_4), етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), пентан (C_5H_{12}) та більш важкі вуглеводні, азот (N_2), сірководень (H_2S), оксид (CO) і діоксид (CO_2) вуглецю;

– теплота згоряння;

– об'ємна витрата;

– об'єм використаного палива за певний проміжок часу.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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_{H} , кг/нм³, при нормальних умовах визначається як сума питомих мас індивідуальних газів, що входять до складу палива:

$$\rho_{\text{H}} = \sum m_{\text{C}_{p\text{H}_q}} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{H}_2\text{S}} + m_{\text{CO}} + m_{\text{CO}_2}, \quad (\text{Ж.11})$$

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

$m_{\text{C}_{p\text{H}_q}}$ – питома маса вуглеводню C_pH_q , який складається з p атомів вуглецю та q атомів водню при нормальних умовах, кг/нм³.

Масовий елементний склад сухого газоподібного палива визначається за формулами:

$$\text{C}^{daf} = \frac{100}{\rho_{\text{H}}} \left(\sum \frac{12p}{12p+q} m_{\text{C}_{p\text{H}_q}} + 0,429m_{\text{CO}} + 0,273m_{\text{CO}_2} \right), \quad (\text{Ж.12})$$

$$\text{H}^{daf} = \frac{100}{\rho_{\text{H}}} \left(\sum \frac{q}{12p+q} m_{\text{C}_{p\text{H}_q}} + 0,059m_{\text{H}_2\text{S}} \right), \quad (\text{Ж.13})$$

$$\text{N}^{daf} = \frac{100}{\rho_{\text{H}}} m_{\text{N}_2}, \quad (\text{Ж.14})$$

$$\text{S}^{daf} = \frac{100}{\rho_{\text{H}}} (0,941m_{\text{H}_2\text{S}}), \quad (\text{Ж.15})$$

$$\text{O}^{daf} = \frac{100}{\rho_{\text{H}}} (0,571m_{\text{CO}} + 0,727m_{\text{CO}_2}), \quad (\text{Ж.16})$$

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

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

$$b = b_v \cdot \rho_n, \quad (\text{Ж.17})$$

де b – масова витрата газоподібного палива, кг/с;
 b_v – об'ємна витрата газоподібного палива при нормальних умовах, нм³/с;
 ρ_n – густина газоподібного палива при нормальних умовах, кг/нм³.

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

$$B = B_v \cdot \rho_n, \quad (\text{Ж.18})$$

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

де B_v – об'єм використаного газоподібного палива за проміжок часу P при нормальних умовах, тис. нм³;
 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.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Загальні положення.....	5
2 Структура курсової роботи та вимоги до її оформлення.....	8
2.1 Етапи виконання курсової роботи.....	8
2.2 Структура курсової роботи.....	9
2.3 Вимоги до оформлення курсової роботи.....	17
3 Порядок захисту та оцінювання якості виконання курсової роботи.....	24
4 Рекомендовані тематичні напрямки курсових робіт.....	29
5 Приклад виконання розрахункової частини курсової роботи.....	32
5.1 Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів під час спалювання органічного палива в енергетичних установках.....	32
5.2 Приклад виконання розрахунку.....	55
Список рекомендованої літератури.....	70
Додатки.....	73
Додаток А	
Зразок титульного аркушу курсової роботи.....	73
Додаток Б	
Зразок бланку завдання на курсову роботу.....	74

Додаток В	
Зразок оформлення змісту курсової роботи.....	76
Додаток Г	
Приклади оформлення бібліографічного опису у списку використаних джерел за ДСТУ 8302:2015.....	78
Додаток Д	
Зразок оформлення слайдів презентації до курсової роботи.....	83
Додаток Е	
Перерахунок характеристик палива.....	84
Додаток Ж	
Перерахунок характеристик газоподібного палива.....	86

Навчальне видання

ЛІТВАК Сергій Михайлович
ЛІТВАК Ольга Анатоліївна

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ

Методичні вказівки до виконання курсової роботи

Комп'ютерне верстання *Н. М. Ковальчук*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 5,29. Вид. № 13. Зам. № 1706-58.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.