МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ

Ефективні методи збереження енергії

Методичні рекомендації

до практичних робіт для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю: **G3 «Електрична інженерія»**

Затверджено на засіданні кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Протокол № _5_ від «17» листопада 2026р.

Кропивницький — 2026

Основи екології енерговикористання. Частина ІІ. Ефективні методи збереження енергії. Методичні рекомендації до практичних робіт для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю G3 «Електрична інженерія». / Л.Г. Віхрова, М.С. Мірошніченко, В.В.Зінзура – Кропивницький: ЦНТУ. -2026. - 37 с.

Укладачі:

Віхрова Л.Г., кандидат технічних наук, професор кафедри ЕТС та ЕМ

Мірошніченко М.С., кандидат технічних наук, доцент кафедри АВП

Зінзура В.В., кандидат технічних наук, доцент кафедри ЕТС та ЕМ

Рецензент:

Коломієць Л.В., к.б.н., доцент, завідувач кафедри екології, охорони навколишнього середовища та здорового способу життя ЦНТУ

ЗМІСТ

ВСТУП……... 4

Практична робота №4
Сталий розвиток та пом’якшення клімату 6

Практична робота №5
Проблеми екології, пов’язані з енергетикою 16

Практична робота №6
Методи ощадного використання енергії 25

Анотація 36

ВСТУП

Раціональне використання енергетичних ресурсів, зменшення негативного впливу енергетичної діяльності на навколишнє природне середовище та підвищення енергоефективності є одними з найважливіших завдань сучасного суспільства. Їх розв'язання потребує не лише теоретичних знань про закономірності функціонування енергетичних систем і взаємодію енергетики з довкіллям, а й уміння застосовувати ці знання для аналізу конкретних ситуацій, виконання інженерних розрахунків та обґрунтування практичних рішень.

Для майбутніх фахівців з електричної інженерії важливим складником професійної підготовки є здатність оцінювати енергетичні й екологічні характеристики технологічних процесів, визначати обсяги споживання та заощадження енергії, розраховувати економічну доцільність енергозберігальних заходів і прогнозувати їхній вплив на довкілля. Особливого значення набувають навички порівняння різних технічних рішень за показниками енергоефективності, вартості впровадження, строку окупності та скорочення викидів парникових газів.

Ці методичні рекомендації розроблено для проведення практичних занять з дисципліни «Основи екології енерговикористання» за темами 4, 5 і 7 змістовного модулю ІІ «Ефективні методи збереження енергії». Вони призначені для здобувачів освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» та спрямовані на закріплення теоретичних знань, набуття практичних навичок розрахунку енергетичних і екологічних показників, а також формування вмінь оцінювати ефективність заходів із раціонального використання енергетичних ресурсів.

Практичні роботи охоплюють такі тематичні напрями:

- **Тема 4. «Сталий розвиток та пом'якшення клімату».** Практичні завдання передбачають оцінювання енергетичної та екологічної результативності заходів, спрямованих на скорочення споживання електричної енергії та зменшення викидів парникових газів. Під час виконання роботи здобувачі освіти набувають навичок розрахунку річного споживання електроенергії, визначення її заощадження, оцінювання економічного ефекту та кількісного визначення скорочення викидів CO_2-еквіваленту внаслідок упровадження енергоефективного освітлення.
- **Тема 5. «Проблеми екології, пов'язані з енергетикою».** Практична діяльність спрямована на визначення основних екологічних наслідків використання енергетичних ресурсів і функціонування енергетичних об'єктів. Здобувачі освіти виконують розрахунки обсягів викидів забруднювальних речовин і парникових газів, оцінюють ефективність газоочисного обладнання, визначають потенціал скорочення енергоспоживання та пов'язаних із ним викидів, аналізують тепловий вплив енергетичних об'єктів на водні екосистеми. Отримані результати використовуються для обґрунтування заходів зі зменшення техногенного навантаження на довкілля.
- **Тема 7. «Методи ощадного використання енергії».** Практичні завдання передбачають оцінювання ефективності заходів з енергозбереження на прикладі модернізації електроприводу та заміни електродвигуна на більш енергоефективний. Здобувачі освіти визначають споживану потужність, річне споживання електроенергії, абсолютне й відносне заощадження енергоресурсів, економічний ефект від упровадження заходу, строк його окупності та відповідне скорочення викидів парникових газів.

Метою практичних робіт є закріплення теоретичних положень дисципліни «Основи екології енерговикористання» та формування практичних умінь щодо розрахунку й оцінювання енергетичних, економічних та екологічних показників, необхідних для обґрунтування заходів із підвищення енергоефективності й зменшення негативного впливу енергетики на навколишнє природне середовище.

Для досягнення поставленої мети передбачається виконання таких завдань:

- закріпити знання про взаємозв'язок енергоспоживання, екологічного стану довкілля та кліматичних змін;
- набути навичок розрахунку споживання електричної енергії та визначення її заощадження внаслідок упровадження енергоефективних технологій;
- навчитися визначати обсяги викидів забруднювальних речовин і парникових газів та оцінювати результативність заходів щодо їх скорочення;
- засвоїти методи розрахунку ефективності газоочисного обладнання та оцінювання окремих видів екологічного впливу енергетичних об'єктів;
- сформувати вміння визначати економічний ефект від упровадження енергозберігальних заходів і розраховувати строк їх окупності;
- навчитися порівнювати альтернативні технічні рішення за енергетичними, економічними та екологічними показниками;
- розвинути навички аналізу отриманих результатів і формулювання обґрунтованих висновків щодо доцільності впровадження природоохоронних та енергозберігальних заходів.

Кожна практична робота містить короткі теоретичні відомості, необхідні для розуміння сутності завдання, вихідні дані, послідовність виконання розрахунків, індивідуальні завдання та вимоги до оформлення звіту. Для кращого засвоєння методики розрахунків передбачено приклади виконання завдань, які демонструють порядок застосування відповідних формул, опрацювання вихідних даних і представлення отриманих результатів.

Під час виконання практичних робіт здобувачі освіти повинні не лише правильно застосовувати розрахункові залежності, а й розуміти фізичний та екологічний зміст отриманих показників. Особливу увагу необхідно приділяти правильності використання одиниць вимірювання, обґрунтованості вихідних даних, послідовності розрахунків, аналізу результатів і формулюванню висновків.

Виконання практичних робіт сприятиме формуванню професійних компетентностей майбутніх фахівців з електричної інженерії, розвитку аналітичного мислення та здатності використовувати інженерні розрахунки для розв'язання завдань енергозбереження й екологічної безпеки. Набуті знання та практичні навички можуть бути використані під час оцінювання ефективності електротехнічного обладнання, вибору енергоощадних технологій, модернізації енергетичних систем і прийняття технічних рішень з урахуванням вимог раціонального природокористування.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

Тема: «Сталий розвиток та пом’якшення клімату»

1. Мета роботи

Метою практичної роботи є поглиблення знань про основні принципи сталого розвитку, причини та наслідки зміни клімату, а також формування практичних навичок оцінювання впливу енергоспоживання на навколишнє середовище. Особлива увага приділяється визначенню потенціалу енергозбереження, розрахунку скорочення викидів парникових газів унаслідок упровадження енергоефективних технологій та обґрунтуванню технічних заходів, спрямованих на пом’якшення зміни клімату.

2. Завдання практичної роботи

Під час виконання практичної роботи необхідно:

1. Розглянути основні принципи сталого розвитку та визначити взаємозв’язок між економічним, соціальним та екологічним складниками.
2. Проаналізувати вплив виробництва, передавання та споживання електричної і теплової енергії на кліматичну систему.
3. Визначити основні джерела антропогенних викидів парникових газів в енергетичному секторі.
4. Виконати розрахунок споживання електричної енергії та оцінити можливе скорочення енергетичних витрат унаслідок упровадження енергоефективного обладнання.
5. Розрахувати орієнтовне скорочення викидів CO_2 у результаті реалізації заходів з енергозбереження.
6. Оцінити економічну доцільність упровадження енергоефективних технологій.
7. Проаналізувати можливості використання відновлюваних джерел енергії та низьковуглецевих технологій для пом’якшення зміни клімату.
8. Сформулювати висновки щодо ролі енергоефективності та раціонального енергоспоживання у забезпеченні сталого розвитку.

3. Обладнання та програмне забезпечення

Для виконання практичної роботи необхідні:

- персональний комп’ютер або ноутбук;
- калькулятор;
- табличний редактор Microsoft Excel, LibreOffice Calc або аналогічне програмне забезпечення;
- текстовий редактор Microsoft Word або LibreOffice Writer;
- доступ до мережі Інтернет для пошуку інформації про енергоефективні технології, відновлювані джерела енергії та сучасні кліматичні заходи;
- навчальні та довідкові матеріали з енергоспоживання, енергоефективності й екології енергетики.

4. Теоретичні відомості

4.1. Сталий розвиток та його основні складники

Сталий розвиток передбачає таку організацію суспільної та господарської діяльності, за якої задоволення сучасних потреб не обмежує можливостей майбутніх поколінь. Його основу становить узгоджене функціонування трьох взаємопов'язаних складників: економічного, соціального та екологічного.

Економічний складник передбачає ефективне використання ресурсів, підвищення продуктивності виробництва та розвиток інноваційних технологій. Соціальний складник пов'язаний із забезпеченням належної якості життя, доступності енергетичних послуг і соціальної справедливості. Екологічний складник спрямований на збереження природних ресурсів, зменшення забруднення довкілля та підтримання екологічної рівноваги.

Енергетичний сектор має важливе значення для реалізації принципів сталого розвитку, оскільки забезпечує функціонування промисловості, транспорту, житлово-комунального господарства та інших сфер економіки. Водночас виробництво й споживання енергії можуть супроводжуватися значними викидами парникових газів.

4.2. Зміна клімату та вплив енергетики

Однією з основних причин сучасної зміни клімату є збільшення концентрації парникових газів в атмосфері внаслідок діяльності людини. До основних парникових газів належать діоксид вуглецю (CO_2), метан (CH_4), закис азоту (N_2O) та фторовані гази.

Значна частина антропогенних викидів CO_2 пов'язана зі спалюванням викопного палива для виробництва електричної та теплової енергії, роботи промислового обладнання й транспортних засобів.

Зменшення впливу енергетики на клімат можливе завдяки:

- підвищенню енергоефективності обладнання;
- зменшенню втрат під час передавання та розподілу електроенергії;
- модернізації електричних мереж і систем теплопостачання;
- використанню відновлюваних джерел енергії;
- упровадженню систем автоматизованого керування енергоспоживанням;
- використанню накопичувачів енергії та інтелектуальних систем управління;
- поступовому переходу до низьковуглецевих технологій.

4.3. Пом'якшення зміни клімату та адаптація

Пом'якшення зміни клімату передбачає скорочення викидів парникових газів або збільшення їх поглинання. До відповідних заходів належать енергозбереження, використання відновлюваних джерел енергії, електрифікація окремих процесів, модернізація енергетичного обладнання та підвищення ефективності виробництва.

Адаптація до зміни клімату полягає у пристосуванні природних і соціально-економічних систем до фактичних або очікуваних кліматичних змін. Прикладами є захист енергетичної інфраструктури від екстремальних погодних явищ, підвищення стійкості електричних мереж, створення резервних джерел живлення та вдосконалення систем водопостачання.

Важливо розрізняти ці поняття: пом'якшення спрямоване на зменшення причин зміни клімату, а адаптація – на зменшення негативних наслідків її проявів.

4.4. Розрахунок споживання електричної енергії

Кількість електричної енергії, спожитої електрообладнанням за певний період, визначається за формулою:

$$W = P \cdot t \cdot n,$$

де W – спожита електрична енергія, кВт·год;

P – потужність електрообладнання, кВт;

t – тривалість роботи обладнання за один день, год;

n – кількість днів роботи обладнання протягом розрахункового періоду.

Якщо використовується декілька однакових електроприймачів, необхідно врахувати їх кількість:

$$W = N \cdot P \cdot t \cdot n,$$

де N – кількість одиниць обладнання.

Економія електричної енергії внаслідок заміни обладнання визначається як різниця між споживанням до та після модернізації:

$$\Delta W = W_1 - W_2,$$

де W_1 – споживання електроенергії до модернізації, кВт·год;

W_2 – споживання електроенергії після модернізації, кВт·год.

Відносне скорочення споживання електроенергії визначається за формулою:

$$\delta = (\Delta W / W_1) \cdot 100\ \%,$$

де δ – відносне скорочення споживання електроенергії, %.

4.5. Оцінювання скорочення викидів парникових газів

Для орієнтовної оцінки впливу енергозберігаючих заходів на клімат використовують коефіцієнт викидів парникових газів, який характеризує кількість викидів, пов’язаних із виробництвом одиниці спожитої енергії.

Скорочення викидів унаслідок зменшення споживання електроенергії визначається за формулою:

$$\Delta M = \Delta W \cdot k,$$

де ΔM – скорочення викидів парникових газів, кг CO_2-екв.;

ΔW – економія електроенергії, кВт·год;

k – коефіцієнт викидів, кг CO_2-екв./кВт·год.

Для навчальних розрахунків у цій практичній роботі прийняти умовне значення коефіцієнта:

k = 0,4 кг CO_2-екв./кВт·год.

Це значення використовується виключно для виконання навчальних розрахунків і не є офіційним актуальним коефіцієнтом викидів електроенергії в Україні. Для практичних енергетичних аудитів необхідно використовувати відповідні офіційні або обґрунтовані галузеві коефіцієнти.

4.6. Економічна оцінка енергоефективних заходів

Економічну доцільність упровадження енергоефективного обладнання можна оцінити за величиною річної економії коштів та строком окупності.

Річна економія коштів визначається за формулою:

E = ΔW · T,

де E – річна економія коштів, грн;

ΔW – річна економія електроенергії, кВт·год;

T – тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

Простий строк окупності капітальних витрат визначається за формулою:

Ток = K / E,

де Ток – простий строк окупності, років;

K – капітальні витрати на придбання та встановлення обладнання, грн;

E – річна економія коштів, грн/рік.

Розрахунок строку окупності дає змогу порівняти економічну ефективність різних технічних рішень. При цьому необхідно враховувати, що простий строк окупності не враховує зміну тарифів, витрати на обслуговування, інфляцію та вартість фінансових ресурсів.

5. Порядок виконання практичної роботи

1. Ознайомитися з метою, завданнями та теоретичними відомостями практичної роботи.
2. Опрацювати поняття сталого розвитку, пом’якшення зміни клімату, адаптації, енергоефективності та викидів парникових газів.
3. Визначити основні джерела викидів парникових газів, пов’язані з виробництвом і споживанням енергії.
4. Ознайомитися з вихідними даними для розрахунку споживання електричної енергії освітлювальним обладнанням.

5. Виконати розрахунок річного споживання електроенергії до та після заміни традиційних ламп на світлодіодні.
6. Визначити абсолютну та відносну економію електричної енергії.
7. Розрахувати орієнтовне скорочення викидів парникових газів унаслідок зменшення споживання електроенергії.
8. Визначити річну економію коштів та простий строк окупності запропонованого заходу.
9. Проаналізувати можливості використання відновлюваних джерел енергії та інших низьковуглецевих технологій для зменшення впливу енергетики на клімат.
10. Оформити результати розрахунків у вигляді таблиць, записати відповіді на контрольні запитання та сформулювати висновки.

6. Практичні завдання

Завдання 1. Оцінювання енергетичної ефективності освітлювального обладнання

У навчальному приміщенні встановлено 12 ламп розжарювання потужністю 60 Вт кожна. Тривалість роботи освітлення становить 8 годин на добу, кількість робочих днів протягом року – 250.

Передбачається замінити лампи розжарювання на світлодіодні лампи потужністю 12 Вт кожна, які забезпечують необхідний рівень освітленості приміщення.

Необхідно:

1. Визначити загальну потужність освітлювального обладнання до заміни ламп.
2. Розрахувати річне споживання електроенергії до модернізації.
3. Визначити загальну потужність світлодіодних ламп після заміни.
4. Розрахувати річне споживання електроенергії після модернізації.
5. Визначити річну економію електроенергії.
6. Розрахувати відносне скорочення споживання електроенергії.

Результати розрахунків оформити в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння енергетичних характеристик освітлювального обладнання

Показник	До модернізації	Після модернізації
Кількість ламп, шт.	12	12
Потужність однієї лампи, Вт	60	12
Загальна потужність, кВт		
Тривалість роботи за добу, год	8	8
Кількість робочих днів на рік	250	250
Річне споживання електроенергії, кВт·год		

За результатами таблиці визначити економію електроенергії та зробити висновок щодо енергетичної ефективності заміни освітлювального обладнання.

Завдання 2. Визначення скорочення викидів парникових газів

Використовуючи результати завдання 1 та умовний коефіцієнт викидів k = 0,4 кг CO_2-екв./кВт·год, необхідно:

1. Визначити орієнтовний обсяг викидів парникових газів, пов’язаний зі споживанням електроенергії до модернізації.
2. Розрахувати відповідний обсяг викидів після модернізації.
3. Визначити скорочення викидів парникових газів унаслідок заміни ламп.
4. Виразити отриманий результат у кілограмах і тоннах CO_2-екв.

Результати оформити в таблиці 2.

Таблиця 2 – Оцінювання впливу модернізації освітлення на викиди парникових газів

Показник	До модернізації	Після модернізації
Річне споживання електроенергії, кВт·год		
Коефіцієнт викидів, кг CO_2-екв./кВт·год	0,4	0,4
Річні викиди, кг CO_2-екв.		

Окремо визначити різницю між річними викидами до та після модернізації.

Завдання 3. Економічна оцінка впровадження енергоефективного освітлення

Для виконання розрахунків прийняти такі умовні вихідні дані:

- вартість однієї світлодіодної лампи – 150 грн;
- кількість ламп – 12 шт.;
- умовний тариф на електроенергію – 6 грн/кВт·год.

Необхідно:

1. Визначити загальні витрати на придбання світлодіодних ламп.
2. Розрахувати річну економію коштів завдяки скороченню споживання електроенергії.
3. Визначити простий строк окупності заміни освітлювального обладнання.
4. Зробити висновок щодо економічної доцільності впровадження запропонованого заходу.

Результати оформити в таблиці 3.

Таблиця 3 – Економічна оцінка модернізації освітлення

Показник	Значення
Вартість однієї світлодіодної лампи, грн	150
Кількість ламп, шт.	12
Загальні капітальні витрати, грн	
Економія електроенергії за рік, кВт·год	
Умовний тариф, грн/кВт·год	6

Річна економія коштів, грн

Простий строк окупності, років

У розрахунках використовувати результати попередніх завдань. Вартість монтажних робіт і додаткового обладнання не враховувати.

Завдання 4. Аналіз технологій пом’якшення зміни клімату в енергетиці

Розглянути наведені технології та визначити їхнє призначення, основні переваги й можливий внесок у скорочення викидів парникових газів.

Таблиця 4 – Технологічні заходи пом’якшення зміни клімату

Технологія або захід	Основне призначення	Вплив на енергоспоживання або викиди
Сонячні фотоелектричні установки		
Вітрові електростанції		
Теплові насоси		
Світлодіодне освітлення		
Системи автоматизованого керування енергоспоживанням		
Накопичувачі електричної енергії		

За результатами аналізу обрати дві технології, які, на думку студента, доцільно впроваджувати в навчальних закладах або житлових будівлях, та обґрунтувати свій вибір.

Завдання 5. Визначення заходів забезпечення сталого розвитку в енергетичному секторі

Проаналізувати запропоновані заходи та визначити, до якого складника сталого розвитку вони належать: економічного, соціального або екологічного. Якщо захід впливає на декілька складників, необхідно зазначити основний і додаткові напрями впливу.

Таблиця 5 – Взаємозв’язок заходів енергозбереження зі складниками сталого розвитку

Захід	Економічний складник	Соціальний складник	Екологічний складник
Модернізація застарілого енергетичного обладнання			
Упровадження енергоефективного освітлення			
Використання сонячних електростанцій			
Підвищення надійності електропостачання			
Зменшення втрат електроенергії в мережах			

Упровадження систем
енергетичного моніторингу

За результатами заповнення таблиці сформулювати висновок про те, чому технічні заходи з підвищення енергоефективності мають одночасно економічне, соціальне та екологічне значення.

7. Контрольні запитання

1. Що розуміють під поняттям «сталий розвиток»?
2. Які основні складники сталого розвитку та як вони взаємопов'язані?
3. Яким чином енергетичний сектор впливає на зміну клімату?
4. Які гази належать до основних парникових газів?
5. У чому полягає відмінність між пом'якшенням зміни клімату та адаптацією до неї?
6. Які заходи дають змогу скоротити викиди парникових газів в енергетичному секторі?
7. Що характеризує вуглецевий слід?
8. Як визначається споживання електричної енергії електрообладнанням за певний період?
9. Як розраховується економія електроенергії внаслідок заміни обладнання?
10. Що таке коефіцієнт викидів парникових газів і для чого він використовується?
11. Як визначити скорочення викидів CO_2-екв. унаслідок упровадження енергоефективного заходу?
12. Які показники використовують для оцінювання економічної ефективності енергозберігаючих заходів?
13. Яку роль відіграють відновлювані джерела енергії в пом'якшенні зміни клімату?
14. Які переваги використання теплових насосів для забезпечення потреб у тепловій енергії?
15. Яким чином автоматизовані системи керування енергоспоживанням сприяють підвищенню енергоефективності?
16. Яке значення має Паризька угода для міжнародної кліматичної політики?
17. Які заходи можуть сприяти підвищенню кліматичної стійкості енергетичної інфраструктури України?

8. Вимоги до оформлення звіту

Звіт про виконання практичної роботи повинен містити:

1. Назву закладу вищої освіти.
2. Назву дисципліни.
3. Номер і тему практичної роботи.
4. Мету роботи.
5. Вихідні дані для виконання розрахунків.
6. Розрахунки споживання електричної енергії до та після модернізації освітлення.
7. Розрахунки економії електроенергії та скорочення викидів парникових газів.
8. Результати економічної оцінки запропонованого заходу.
9. Заповнені таблиці за результатами виконання практичних завдань.
10. Відповіді на контрольні запитання.
11. Загальні висновки за результатами роботи.

Розрахунки необхідно супроводжувати відповідними формулами, поясненнями та одиницями вимірювання. Проміжні й кінцеві результати слід подавати з обґрунтованою

точністю. Таблиці повинні мати назви, а всі використані умовні коефіцієнти та вихідні дані – бути зазначені у звіті.

За використання додаткових інформаційних матеріалів необхідно вказувати джерела інформації.

9. Критерії оцінювання

Оцінювання результатів виконання практичної роботи здійснюється за п’ятибальною шкалою з урахуванням повноти виконання завдань, правильності розрахунків, обґрунтованості висновків та якості оформлення звіту.

5 балів (відмінно) – студент повністю виконав усі практичні завдання, правильно застосував розрахункові формули, отримав достовірні результати, продемонстрував розуміння взаємозв’язку між енергоспоживанням і викидами парникових газів, обґрунтовано оцінив економічну та екологічну ефективність запропонованих заходів. Звіт оформлено відповідно до встановлених вимог.

4 бали (добре) – студент виконав основний обсяг практичних завдань, правильно застосував більшість розрахункових залежностей, проте допустив окремі несуттєві помилки або неточності. Висновки загалом обґрунтовані, звіт оформлено з незначними недоліками.

3 бали (задовільно) – студент виконав частину практичних завдань, продемонстрував базове розуміння основних понять теми, але допустив помилки в розрахунках, неповно проаналізував отримані результати або недостатньо обґрунтував висновки. Звіт оформлено з окремими недоліками.

2 бали (незадовільно) – студент виконав незначну частину практичних завдань або не виконав їх у повному обсязі, неправильно застосовував розрахункові формули, не зміг пояснити отримані результати та встановити зв’язок між енергоефективністю і пом’якшенням зміни клімату. Звіт не відповідає основним вимогам до оформлення.

10. Висновки

У результаті виконання практичної роботи студенти повинні закріпити знання про принципи сталого розвитку та основні напрями пом’якшення зміни клімату, а також набути практичних навичок оцінювання енергетичних, екологічних та економічних результатів упровадження енергоефективних заходів.

Виконання розрахунків дає змогу встановити, що модернізація електрообладнання, зменшення споживання електроенергії та використання сучасних технологій сприяють скороченню енергетичних витрат і пов’язаних із ними викидів парникових газів. Водночас оцінювання строку окупності дозволяє визначити економічну доцільність запропонованих технічних рішень.

Особливе значення для фахівців з електричної інженерії має вміння оцінювати енергетичну ефективність обладнання, обґрунтовувати доцільність його модернізації та пропонувати технологічні рішення, які забезпечують надійне й раціональне використання енергетичних ресурсів. Такі підходи є важливою передумовою зменшення негативного впливу енергетики на довкілля та реалізації принципів сталого розвитку.

11. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford : Oxford University Press, 1987. URL: https://www.unccd.int/resources/unccd-library/our-common-future
2. United Nations. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. 2015. URL: https://sdgs.un.org/2030agenda
3. IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge : Cambridge University Press, 2022. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/
4. IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva : Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/
5. United Nations Framework Convention on Climate Change. *The Paris Agreement*. 2015. URL: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement
6. Про основні засади державної кліматичної політики : Закон України від 08.10.2024 № 3991-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/3991-20
7. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20
8. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів : Закон України від 12.12.2019 № 377-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/377-20
9. Про ратифікацію Паризької угоди : Закон України від 14.07.2016 № 1469-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1469-19
10. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2118-19
11. International Energy Agency. *Energy Efficiency 2024*. Paris : IEA, 2024. URL: https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024
12. United Nations Environment Programme. *Emissions Gap Report 2024*. Nairobi : UNEP, 2024. URL: https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024
13. United Nations. *The Sustainable Development Goals Report 2025*. New York : United Nations, 2025. URL: https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/

Рекомендація щодо використання літератури:

- Для теоретичних завдань 1, 4 і 5 доцільно використовувати джерела 1–5.
- Для розрахунків енергоспоживання, енергоефективності та економічної оцінки – джерела 7, 10 і 11.
- Для оцінювання викидів парникових газів та кліматичних наслідків – джерела 3, 4, 8 і 12.
- Для ознайомлення з державною кліматичною політикою України – джерела 6–9.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5

Тема: «Проблеми екології, пов’язані з енергетикою»

1. Мета роботи

Мета практичної роботи — закріпити теоретичні знання про основні екологічні проблеми, пов’язані з виробництвом і використанням енергії, сформувати практичні навички оцінювання негативного впливу енергетичних об’єктів на навколишнє природне середовище, виконання розрахунків обсягів забруднювальних викидів та визначення ефективності природоохоронних і енергозберігальних заходів.

Під час виконання роботи студенти повинні навчитися аналізувати вплив спалювання різних видів палива на атмосферне повітря, оцінювати результативність очищення димових газів, визначати екологічні наслідки теплового забруднення водойм та обґрунтовувати доцільність упровадження заходів зі зменшення негативного впливу енергетики на довкілля.

2. Завдання практичної роботи

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати основні джерела забруднення навколишнього природного середовища, пов’язані з функціонуванням енергетичних об’єктів.
2. Визначити обсяги викидів вуглекислого газу під час спалювання різних видів органічного палива.
3. Розрахувати кількість забруднювальних речовин, що надходять в атмосферу до та після застосування газоочисного обладнання.
4. Визначити екологічний ефект від зменшення споживання електричної енергії.
5. Оцінити вплив скидання підігрітої води на температурний режим водойми.
6. Запропонувати заходи щодо зменшення негативного впливу енергетичних об’єктів на довкілля.
7. Сформулювати висновки за результатами виконаних розрахунків.

3. Обладнання та програмне забезпечення

Для виконання практичної роботи необхідні:

- персональний комп’ютер або ноутбук;
- калькулятор;
- табличний процесор Microsoft Excel, LibreOffice Calc або Google Sheets;
- текстовий редактор Microsoft Word або LibreOffice Writer;
- методичні вказівки та лекційний матеріал з теми «Проблеми екології, пов’язані з енергетикою»;
- довідкові матеріали щодо екологічних характеристик енергетичних ресурсів.

За наявності доступу до мережі Інтернет рекомендується використовувати офіційні інформаційні ресурси Міністерства економіки, довкілля та сільського господарства України, Державної екологічної інспекції України, Міжнародного енергетичного агентства, Міжнародного агентства з атомної енергії та інших профільних установ.

4. Теоретичні відомості

Енергетична діяльність є одним із важливих чинників антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Виробництво електричної та теплової енергії, видобування й транспортування палива, експлуатація енергетичного обладнання супроводжуються утворенням забруднювальних речовин, споживанням водних ресурсів, зміною природних ландшафтів і накопиченням відходів.

Основними екологічними проблемами енергетики є забруднення атмосферного повітря, посилення парникового ефекту, утворення кислотних опадів, смог, теплове забруднення водойм, порушення природних екосистем, утворення промислових і радіоактивних відходів, а також ризики виникнення техногенних аварій.

4.1. Викиди забруднювальних речовин під час спалювання палива

Під час роботи теплових електростанцій у результаті спалювання органічного палива утворюються газоподібні та тверді продукти згоряння.

До основних забруднювальних речовин належать:

- вуглекислий газ (CO_2), який є одним із головних антропогенних парникових газів;
- оксиди азоту (NO_x), що беруть участь в утворенні фотохімічного смогу та кислотних опадів;
- діоксид сірки (SO_2), який сприяє утворенню кислотних опадів;
- тверді частинки (пил, зола, сажа), що забруднюють атмосферне повітря та негативно впливають на здоров’я людини;
- чадний газ (CO), який утворюється за умов неповного згоряння палива.

Кількість викидів залежить від виду та якості палива, його витрати, режиму горіння, ефективності енергетичного обладнання і наявності систем очищення димових газів.

Для орієнтовного розрахунку викидів вуглекислого газу застосовується формула:

$M(CO_2) = B \times q(CO_2)$,

де:

$M(CO_2)$ — маса викидів вуглекислого газу, кг;

B — витрата палива, кг або м³;

$q(CO_2)$ — питомий коефіцієнт викидів CO_2, кг/кг палива або кг/м³ газу відповідно.

Для навчальних розрахунків можна використовувати такі умовні питомі коефіцієнти:

Вид палива	Умовний коефіцієнт викидів CO_2
Кам’яне вугілля	2,4 кг CO_2/кг
Мазут	3,1 кг CO_2/кг
Природний газ	2,0 кг CO_2/м³

Наведені значення є наближеними навчальними величинами. Для реальної екологічної інвентаризації необхідно використовувати фактичні характеристики палива та відповідні офіційні коефіцієнти викидів.

4.2. Оцінювання ефективності очищення димових газів

Для зменшення негативного впливу ТЕС на атмосферу застосовують газоочисне обладнання: електрофільтри, рукавні фільтри, установки десульфуризації, системи селективного каталітичного або некаталітичного відновлення оксидів азоту.

Ефективність очищення визначають за формулою:

$$\eta = ((M_1 - M_2) / M_1) \times 100\ \%,$$

де:

η — ефективність очищення, %;

M_1 — маса забруднювальної речовини до очищення, кг;

M_2 — маса забруднювальної речовини після очищення, кг.

Маса речовини, яка залишилася після очищення:

$$M_2 = M_1 \times (1 - \eta/100).$$

Ці формули дають змогу оцінити результативність застосування природоохоронного обладнання та визначити, наскільки зменшується надходження забруднювальних речовин в атмосферу.

4.3. Екологічний ефект від скорочення споживання електроенергії

Зменшення споживання електричної енергії за незмінного обсягу корисної роботи дає змогу скоротити потребу в її виробництві, а отже, знизити використання енергетичних ресурсів і пов’язані з цим викиди парникових газів.

Річну економію електроенергії можна визначити за формулою:

$$\Delta W = (P_1 - P_2) \times t,$$

де:

ΔW — економія електроенергії, кВт·год;

P_1 — початкова потужність обладнання, кВт;

P_2 — потужність обладнання після модернізації, кВт;

t — тривалість роботи обладнання за розрахунковий період, год.

Скорочення викидів парникових газів унаслідок економії електроенергії:

$$\Delta M(CO_2) = \Delta W \times k,$$

де:

$\Delta M(CO_2)$ — скорочення викидів CO_2, кг;

k — коефіцієнт викидів парникових газів на одиницю спожитої електроенергії, кг CO_2-екв./кВт·год.

Для навчальних розрахунків можна прийняти умовне значення k = 0,4 кг CO_2-екв./кВт·год. У реальних оцінюваннях коефіцієнт потрібно обирати відповідно до джерела електроенергії, періоду та методики розрахунку.

4.4. Оцінювання теплового забруднення водойм

Теплове забруднення виникає внаслідок надходження у природні водойми підігрітої води, яка використовувалася для охолодження енергетичного обладнання.

Підвищення температури води може призвести до зменшення розчинності кисню, зміни умов існування водних організмів, порушення природних процесів самоочищення та зміни екологічної рівноваги водойми.

Для визначення температури суміші води після змішування підігрітої води зі водою водойми застосовують спрощену формулу теплового балансу:

$$T_c = (Q_1 \times T_1 + Q_2 \times T_2) / (Q_1 + Q_2),$$

де:

T_c — температура суміші, °C;

Q_1 — витрата підігрітої води, м³/год;

T_1 — температура підігрітої води, °C;

Q_2 — витрата води у водоймі, що бере участь у змішуванні, м³/год;

T_2 — початкова температура води у водоймі, °C.

Формула є спрощеною моделлю і передбачає однакову теплоємність води, повне перемішування потоків та відсутність істотних втрат теплоти в навколишнє середовище. Вона дає змогу орієнтовно оцінити зміну температури води після надходження теплового скиду.

4.5. Основні напрями зменшення негативного впливу енергетики на довкілля

До основних заходів належать:

- підвищення ефективності використання палива та електричної енергії;
- модернізація енергетичного обладнання;
- застосування ефективних систем очищення димових газів;
- використання технологій зменшення викидів оксидів сірки та азоту;

- впровадження систем оборотного й замкненого водопостачання;
- утилізація та повторне використання виробничих відходів;
- розвиток відновлюваних джерел енергії;
- використання систем моніторингу атмосферного повітря та водних ресурсів;
- дотримання вимог екологічного законодавства;
- запобігання аваріям і забезпечення екологічної безпеки енергетичних об’єктів.

5. Порядок виконання практичної роботи

Практичну роботу рекомендується виконувати в такій послідовності:

1. Ознайомитися з темою, метою та завданнями практичної роботи.
2. Опрацювати теоретичні відомості щодо екологічного впливу енергетичних об’єктів.
3. Записати вихідні дані відповідно до свого варіанта.
4. Виконати розрахунок викидів CO_2 під час спалювання заданої кількості палива.
5. Визначити ефективність очищення димових газів та залишкову масу забруднювальної речовини.
6. Розрахувати економію електроенергії та скорочення викидів CO_2-екв. унаслідок модернізації обладнання.
7. Визначити орієнтовну температуру води після змішування підігрітого потоку з водою водойми.
8. Узагальнити отримані результати та порівняти їх із початковими показниками.
9. Запропонувати природоохоронні заходи для зменшення негативного впливу енергетичного об’єкта.
10. Оформити звіт і сформулювати висновки.

6. Практичні завдання

Завдання 1. Розрахунок викидів вуглекислого газу під час спалювання палива

Теплова електростанція використовує органічне паливо для виробництва електричної та теплової енергії. Необхідно визначити масу викидів CO_2 за заданої витрати палива.

Вихідні дані:

Показник	Варіант А	Варіант Б	Варіант В
Вид палива	Вугілля	Мазут	Природний газ
Витрата палива за добу	10 000 кг	8 000 кг	12 000 м³
Коефіцієнт викидів CO_2	2,4 кг/кг	3,1 кг/кг	2,0 кг/м³

Порядок виконання:

1. Визначити вид палива відповідно до свого варіанта.
2. Записати формулу розрахунку маси викидів CO_2.
3. Підставити вихідні дані та виконати обчислення.
4. Визначити добову масу викидів CO_2 у тоннах.
5. Порівняти отримані результати для різних видів палива.

Завдання 2. Оцінювання ефективності очищення димових газів

На енергетичному об’єкті встановлено систему очищення димових газів. Необхідно визначити ефективність роботи обладнання та кількість забруднювальної речовини, яка залишається після очищення.

Вихідні дані:

Показник	Варіант А	Варіант Б	Варіант В
Маса забруднювальної речовини до очищення, кг/год	120	150	180
Маса після очищення, кг/год	18	30	36

Порядок виконання:

1. Визначити масу речовини, яка видаляється під час очищення.
2. Розрахувати ефективність очищення за наведеною формулою.
3. Визначити відсоток забруднювальної речовини, що залишається після очищення.
4. Порівняти ефективність роботи системи для трьох варіантів.
5. Сформулювати висновок щодо результативності застосування газоочисного обладнання.

Завдання 3. Визначення екологічного ефекту від енергозбереження

На підприємстві планується замінити застаріле електрообладнання на більш енергоефективне. Необхідно визначити річну економію електроенергії та орієнтовне скорочення викидів парникових газів.

Вихідні дані:

Показник	Варіант А	Варіант Б	Варіант В
Початкова потужність обладнання, кВт	15	20	25
Потужність після модернізації, кВт	12	14	18
Час роботи за рік, год	2 000	2 200	2 400
Умовний коефіцієнт викидів, кг CO_2-екв./кВт·год	0,4	0,4	0,4

Порядок виконання:

1. Визначити різницю між початковою та новою потужністю обладнання.
2. Розрахувати річну економію електроенергії.
3. Визначити відносну економію електроенергії у відсотках.
4. Розрахувати орієнтовне скорочення викидів CO_2-екв.
5. Зробити висновок про екологічну доцільність модернізації обладнання.

Завдання 4. Оцінювання теплового забруднення водойми

Після проходження через систему охолодження енергетичного об’єкта підігріта вода надходить у природну водойму. Необхідно визначити орієнтовну температуру води після змішування потоків.

Вихідні дані:

Показник	Варіант А	Варіант Б	Варіант В
Витрата підігрітої води Q_1, м³/год	500	600	800
Температура підігрітої води T_1, °C	35	38	36
Витрата води водойми Q_2, м³/год	4 500	5 400	7 200
Початкова температура води T_2, °C	20	19	21

Порядок виконання:

1. Записати формулу визначення температури суміші.
2. Підставити вихідні дані свого варіанта.
3. Розрахувати температуру води після змішування.
4. Визначити, на скільки градусів змінилася температура порівняно з початковою.
5. Пояснити, які екологічні наслідки може спричинити таке підвищення температури води.

Завдання 5. Розроблення заходів щодо зменшення екологічного впливу енергетичного об’єкта

На основі результатів попередніх розрахунків необхідно запропонувати комплекс заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу енергетичного об’єкта на довкілля.

Під час виконання завдання потрібно:

1. Визначити основні джерела забруднення, характерні для розглянутого енергетичного об’єкта.
2. Встановити, які компоненти довкілля зазнають найбільшого впливу.
3. Запропонувати не менше п’яти заходів екологічного захисту.
4. Розподілити запропоновані заходи за напрямами: атмосферне повітря, водні ресурси, відходи, енергоефективність та екологічна безпека.
5. Обґрунтувати очікуваний екологічний ефект від їх упровадження.

Для узагальнення результатів можна використати таблицю:

№	Екологічна проблема	Запропонований захід	Очікуваний результат
1	Викиди забруднювальних речовин	Встановлення ефективних систем очищення	Зменшення забруднення атмосферного повітря
2	Надмірне споживання енергії	Модернізація обладнання	Скорочення витрат енергоресурсів
3	Теплове забруднення водойм	Удосконалення систем охолодження	Зменшення теплового навантаження на водойми
4	Утворення виробничих відходів	Утилізація та повторне використання відходів	Скорочення обсягів відходів, що потребують видалення
5	Ризик аварійних ситуацій	Впровадження систем контролю та моніторингу	Підвищення екологічної безпеки

7. Контрольні запитання

1. Які основні екологічні проблеми виникають у процесі виробництва електричної та теплової енергії?
2. Які забруднювальні речовини утворюються під час спалювання органічного палива?
3. Чому викиди CO_2 пов’язані з посиленням парникового ефекту?
4. Від яких чинників залежить кількість забруднювальних речовин, що утворюються під час роботи ТЕС?
5. Яке призначення електрофільтрів, рукавних фільтрів та установок десульфуризації?
6. Як визначається ефективність очищення димових газів?
7. Яким чином підвищення енергоефективності сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля?
8. Що таке теплове забруднення водойм і які основні причини його виникнення?
9. Як підвищення температури води впливає на концентрацію розчиненого кисню?
10. Які природоохоронні заходи доцільно застосовувати для зменшення негативного впливу енергетичних об’єктів на довкілля?

8. Вимоги до оформлення звіту

За результатами виконання практичної роботи студент повинен оформити звіт, який має містити:

1. Назву закладу освіти та дисципліни.
2. Номер і тему практичної роботи.
3. Мету роботи.
4. Вихідні дані відповідно до свого варіанта.
5. Основні розрахункові формули з поясненням позначень.
6. Послідовність виконання розрахунків із зазначенням одиниць вимірювання.
7. Результати виконання кожного практичного завдання.
8. Таблиці з отриманими результатами та, за необхідності, діаграми.
9. Запропоновані заходи щодо зменшення негативного впливу енергетики на довкілля.
10. Відповіді на контрольні запитання.
11. Загальні висновки.

Розрахунки необхідно подавати послідовно, із зазначенням формул, підстановкою вихідних значень і кінцевих результатів. Усі числові результати повинні супроводжуватися відповідними одиницями вимірювання.

Таблиці мають містити назви, а графічні матеріали — підписи. Під час використання електронних таблиць необхідно зазначити програмне забезпечення, яке застосовувалося для розрахунків.

У висновках потрібно коротко охарактеризувати отримані результати, визначити основні екологічні проблеми, виявлені під час виконання завдань, та обґрунтувати запропоновані природоохоронні заходи.

9. Критерії оцінювання

Оцінювання результатів виконання практичної роботи здійснюється за п’ятибальною шкалою з урахуванням правильності розрахунків, повноти виконання завдань, обґрунтованості висновків і якості оформлення звіту.

Кількість балів	Критерії оцінювання
5 балів	Практичну роботу виконано повністю. Усі завдання розв’язані правильно, розрахунки здійснені послідовно з правильним використанням формул та одиниць вимірювання. Студент демонструє глибоке розуміння екологічних проблем енергетики, уміє аналізувати отримані результати, обґрунтовувати природоохоронні заходи та формулювати змістовні висновки. Звіт оформлено відповідно до вимог.
4 бали	Практичну роботу виконано в повному обсязі, проте допущено незначні помилки або неточності в окремих розрахунках, поясненнях чи оформленні звіту. Студент загалом правильно розуміє сутність екологічних проблем, може пояснити отримані результати та запропонувати доцільні природоохоронні заходи.
3 бали	Практичну роботу виконано частково або з окремими суттєвими помилками. Розрахунки містять неточності, пояснення результатів недостатньо обґрунтовані, висновки мають загальний характер. Студент демонструє базове розуміння теми, але відчуває труднощі під час аналізу екологічних наслідків і вибору природоохоронних заходів.
2 бали	Практичну роботу виконано на недостатньому рівні. Значну частину завдань не виконано або розрахунки містять суттєві помилки. Студент не може належним чином пояснити використані формули, проаналізувати результати та сформулювати обґрунтовані висновки. Звіт не відповідає основним вимогам до оформлення.

10. Висновки

Після виконання практичної роботи студент повинен узагальнити отримані результати та зробити висновки щодо основних екологічних проблем, пов’язаних із функціонуванням енергетичних об’єктів.

У висновках необхідно зазначити:

- які обсяги викидів CO_2 отримано під час спалювання заданого виду палива;
- наскільки ефективною виявилася система очищення димових газів;
- яку кількість електроенергії можна заощадити внаслідок модернізації обладнання та як це впливає на скорочення викидів парникових газів;
- як змінюється температура води після надходження підігрітого потоку у водойму;
- які природоохоронні заходи є найбільш доцільними для зменшення негативного впливу енергетичного об’єкта на довкілля.

Узагальнюючи результати, необхідно підкреслити, що зменшення екологічного навантаження енергетики потребує комплексного підходу, який передбачає підвищення енергоефективності, модернізацію технологічного обладнання, застосування ефективних систем очищення, раціональне використання водних ресурсів, безпечне поводження з відходами та постійний екологічний моніторинг.

Отримані під час роботи навички розрахунку викидів, оцінювання ефективності природоохоронних заходів та аналізу екологічних наслідків енергетичної діяльності є важливими для майбутньої професійної діяльності фахівців електричної інженерії.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12
   Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 № 2707-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2707-12
2. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20
3. Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення : Закон України від 16.07.2024 № 3855-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/3855-20
4. Intergovernmental Panel on Climate Change. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy*. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html
5. European Environment Agency. *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023*. URL: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023
6. United States Environmental Protection Agency. *S-309 Reviewers Guidance for New Nuclear Power Plant Environmental Impact Statements*. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/309-reviewers-guidance-for-new-nuclear-power-plant-eiss-pg.pdf
   International Energy Agency. *Energy Efficiency*. URL: https://www.iea.org/topics/energy-efficiency

Рекомендовано використовувати:

- **Завдання 1** — джерела 1, 2, 4, 6: аналіз джерел забруднення довкілля, вплив енергетичних об’єктів на атмосферне повітря та промислове забруднення.
- **Завдання 2** — джерела 5, 6: визначення обсягів викидів CO_2 під час спалювання органічного палива.
- **Завдання 3** — джерела 2, 4, 6: оцінювання забруднення атмосферного повітря та ефективності застосування газоочисного обладнання.
- **Завдання 4** — джерела 3, 5: оцінювання енергозбереження та екологічного ефекту від скорочення споживання електричної енергії.
- **Завдання 5** — джерела 1, 3: оцінювання теплового впливу енергетичних об’єктів на водойми та обґрунтування природоохоронних заходів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

Тема: «Методи ощадного використання енергії»

1. Мета практичної роботи

Навчитися визначати енергетичну, економічну та екологічну ефективність заходів з енергозбереження на основі розрахунку споживання електроенергії, її економії, фінансових заощаджень, простого терміну окупності інвестицій та скорочення викидів парникових газів.

2. Завдання практичної роботи

Під час виконання практичної роботи необхідно:

1. Ознайомитися з основними напрямами енергозбереження та показниками оцінювання енергоефективності.
2. Розглянути приклад модернізації електрообладнання промислового підприємства.
3. Визначити споживану електричну потужність обладнання до та після впровадження енергозберігального заходу.
4. Розрахувати річне споживання електроенергії до та після модернізації.
5. Визначити річну економію електроенергії та її відносне значення у відсотках.
6. Розрахувати річну економію коштів від скорочення споживання електроенергії.
7. Визначити простий термін окупності капітальних вкладень.
8. Оцінити можливе скорочення викидів парникових газів унаслідок зменшення споживання електроенергії.
9. Проаналізувати отримані результати та сформулювати висновок щодо доцільності впровадження запропонованого заходу.

3. Обладнання та програмне забезпечення

Для виконання практичної роботи необхідні:

- персональний комп'ютер або ноутбук;
- калькулятор;
- електронні таблиці Microsoft Excel, LibreOffice Calc або аналогічне програмне забезпечення;
- методичні рекомендації до практичної роботи;
- довідкові дані щодо характеристик електрообладнання, тарифів і коефіцієнтів викидів парникових газів.

4. Теоретичні відомості

4.1. Основні показники енергетичної ефективності

Енергетична ефективність характеризує результативність використання енергетичних ресурсів для виконання певної роботи або забезпечення виробничого процесу.

Одним із найважливіших напрямів підвищення енергоефективності промислових підприємств є модернізація електрообладнання. Наприклад, заміна електродвигуна

старого покоління на двигун із вищим класом енергоефективності дає змогу зменшити втрати електроенергії за умови забезпечення однакової корисної механічної потужності.

Для оцінювання такого заходу необхідно порівняти споживану потужність обладнання до та після модернізації.

Вхідна електрична потужність електродвигуна визначається за формулою:

$P_1 = P_2 / \eta,$

де P_1 — споживана електрична потужність двигуна, кВт; P_2 — корисна механічна потужність на валу двигуна, кВт; η — коефіцієнт корисної дії двигуна (ККД).

Якщо двигун працює з однаковим механічним навантаженням, то для обладнання з більшим ККД необхідна менша кількість електроенергії.

4.2. Розрахунок споживання електроенергії

Кількість електроенергії, спожитої обладнанням за певний період, визначають за формулою:

$W = P \cdot t,$

де W — спожита електроенергія, кВт·год; P — споживана електрична потужність, кВт; t — тривалість роботи обладнання, год.

Річне споживання електроенергії до модернізації:

$W_1 = P_1 \cdot t,$

після модернізації:

$W_2 = P_{2вх} \cdot t,$

де $P_{2вх}$ — споживана електрична потужність модернізованого обладнання, кВт.

Річна економія електроенергії визначається як різниця між споживанням до та після впровадження заходу:

$\Delta W = W_1 - W_2.$

Відносну економію електроенергії визначають за формулою:

$\delta = (\Delta W / W_1) \cdot 100\ \%,$

де δ — відносна економія електроенергії, %.

4.3. Економічна оцінка заходів з енергозбереження

Упровадження енергоефективного обладнання потребує капітальних витрат. Економічна доцільність такого заходу визначається, зокрема, можливістю зменшення щорічних витрат на оплату електроенергії.

Річну економію коштів визначають за формулою:

$$Ер = \Delta W \cdot Ц,$$

де Ер — річна економія коштів, грн/рік; ΔW — річна економія електроенергії, кВт·год; Ц — вартість електроенергії, грн/кВт·год.

Одним із простих показників економічної ефективності є термін окупності капітальних вкладень:

$$Ток = К / Ер,$$

де Ток — простий термін окупності, років; К — капітальні витрати на придбання та встановлення обладнання, грн; Ер — річна економія коштів, грн/рік.

Чим менший термін окупності, тим швидше повертаються початкові інвестиції за рахунок отриманої економії.

Слід враховувати, що простий термін окупності є орієнтовним показником. Він не враховує зміну вартості грошей у часі, можливу зміну тарифів, додаткові витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання.

4.4. Екологічна оцінка енергозберігальних заходів

Скорочення споживання електроенергії може сприяти зменшенню викидів парникових газів, пов'язаних із її виробництвом. Для попереднього оцінювання такого ефекту використовують коефіцієнт викидів електроенергетичної системи.

Розрахункове скорочення викидів парникових газів визначають за формулою:

$$\Delta M = \Delta W \cdot k,$$

де ΔM — скорочення викидів парникових газів, кг CO_2-екв.; ΔW — економія електроенергії, кВт·год; k — коефіцієнт викидів, кг CO_2-екв./кВт·год.

Коефіцієнт викидів залежить від структури виробництва електроенергії, періоду розрахунку та обраної методики. Для навчальних розрахунків допускається використання умовного значення, зазначеного у вихідних даних. Для реальних проєктів необхідно застосовувати актуальні обґрунтовані коефіцієнти.

Екологічний результат заходу з енергозбереження може також проявлятися у скороченні споживання палива, зменшенні викидів забруднювальних речовин та зниженні навантаження на природні ресурси.

5. Порядок виконання практичної роботи

Завдання 1. Ознайомитися з вихідними даними.

Отримати індивідуальний варіант завдання або використати дані, наведені викладачем. Визначити тип обладнання, його корисну потужність, ККД до та після модернізації, тривалість роботи протягом року, вартість електроенергії, капітальні витрати та коефіцієнт викидів.

Завдання 2. Визначити споживану електричну потужність.

За заданими значеннями корисної потужності та ККД розрахувати споживану електричну потужність обладнання до і після модернізації.

Завдання 3. Розрахувати річне споживання електроенергії.

Визначити кількість електроенергії, яку споживає обладнання протягом року до та після впровадження енергозберігального заходу.

Завдання 4. Визначити економію електроенергії.

Розрахувати абсолютну та відносну економію електроенергії. Результати занести до таблиці.

Завдання 5. Провести економічну оцінку.

Визначити річну економію коштів від зменшення споживання електроенергії та розрахувати простий термін окупності капітальних вкладень.

Завдання 6. Провести екологічну оцінку.

Визначити орієнтовне скорочення викидів парникових газів унаслідок зменшення споживання електроенергії.

Завдання 7. Проаналізувати отримані результати.

Оцінити енергетичну, економічну та екологічну ефективність запропонованого заходу. Сформулювати висновок щодо доцільності модернізації обладнання.

6. Приклад виконання практичної роботи

Умова завдання.

На промисловому підприємстві планується замінити електродвигун старого типу на сучасний енергоефективний двигун. Корисна механічна потужність, необхідна для забезпечення технологічного процесу, становить 5,625 кВт.

ККД старого електродвигуна дорівнює 0,88, а нового — 0,93. Обладнання працює 3000 годин на рік.

Вартість електроенергії для навчального розрахунку прийняти 10 грн/кВт·год. Капітальні витрати на придбання та встановлення нового двигуна становлять 20 000 грн. Умовний коефіцієнт викидів прийняти 0,4 кг CO_2-екв./кВт·год.

Необхідно визначити:

- споживану електричну потужність до та після модернізації;
- річне споживання електроенергії;
- економію електроенергії;
- річну економію коштів;
- простий термін окупності;

- скорочення викидів парникових газів.

Розв'язання

1. Визначення споживаної електричної потужності старого двигуна:

$P_1 = Ркор / \eta_1$,

$P_1 = 5,625 / 0,88 = 6,392$ кВт.

2. Визначення споживаної електричної потужності нового двигуна:

$P_2 = Ркор / \eta_2$,

$P_2 = 5,625 / 0,93 = 6,048$ кВт.

3. Розрахунок річного споживання електроенергії старим двигуном:

$W_1 = P_1 \cdot t$,

$W_1 = 6,392 \cdot 3000 = 19\ 176$ кВт·год.

4. Розрахунок річного споживання електроенергії новим двигуном:

$W_2 = P_2 \cdot t$,

$W_2 = 6,048 \cdot 3000 = 18\ 144$ кВт·год.

5. Визначення річної економії електроенергії:

$\Delta W = W_1 - W_2$,

$\Delta W = 19\ 176 - 18\ 144 = 1032$ кВт·год.

6. Визначення відносної економії електроенергії:

$\delta = (\Delta W / W_1) \cdot 100\ \%$,

$\delta = (1032 / 19\ 176) \cdot 100\ \% \approx 5,38\ \%$.

7. Визначення річної економії коштів:

Ер = $\Delta W \cdot$ Ц,

Ер = $1032 \cdot 10 = 10\ 320$ грн/рік.

8. Визначення простого терміну окупності:

Ток = К / Ер,

Ток = $20\ 000 / 10\ 320 \approx 1,94$ року.

9. Визначення скорочення викидів парникових газів:

$\Delta M = \Delta W \cdot k,$

$\Delta M = 1032 \cdot 0{,}4 = 412{,}8$ кг CO_2-екв./рік.

Результати розрахунків

Показник	Значення
Корисна механічна потужність, кВт	5,625
ККД старого двигуна	0,88
ККД нового двигуна	0,93
Споживана потужність старого двигуна, кВт	6,392
Споживана потужність нового двигуна, кВт	6,048
Річне споживання старого двигуна, кВт·год	19 176
Річне споживання нового двигуна, кВт·год	18 144
Економія електроенергії, кВт·год/рік	1032
Відносна економія електроенергії, %	5,38
Річна економія коштів, грн	10 320
Капітальні витрати, грн	20 000
Простий термін окупності, років	1,94
Скорочення викидів, кг CO_2-екв./рік	412,8

Висновок за результатами прикладу.

Заміна старого електродвигуна на сучасний двигун із вищим ККД забезпечує зменшення споживаної електричної потужності за однакового корисного навантаження. Річна економія електроенергії становить 1032 кВт·год, або приблизно 5,38 % від початкового споживання.

Річна економія коштів за прийнятого умовного тарифу становить 10 320 грн, а простий термін окупності капітальних вкладень — близько 1,94 року. Розрахункове скорочення викидів парникових газів становить 412,8 кг CO_2-екв. на рік.

Отже, за заданих умов модернізація електродвигуна є енергетично, економічно та екологічно доцільним заходом. При цьому фактичний результат залежатиме від режиму завантаження обладнання, тривалості його роботи, реального тарифу та обґрунтованого коефіцієнта викидів.

7. Індивідуальні варіанти завдань

Для самостійного виконання розрахунків студентам пропонуються такі вихідні дані. У всіх варіантах передбачається заміна електродвигуна на більш енергоефективний за умови збереження однакової корисної механічної потужності.

№ варіанта	Корисна потужність, кВт	ККД старого двигуна	ККД нового двигуна	Робота за рік, год	Тариф, грн/кВт·год	Капітальні витрати, грн

1	4,0	0,85	0,91	2500	10	12 000
2	5,5	0,87	0,93	3000	10	18 000
3	7,5	0,88	0,94	2800	10	22 000
4	11,0	0,89	0,95	3500	10	30 000
5	15,0	0,90	0,95	4000	10	38 000
6	18,5	0,88	0,94	3000	10	42 000
7	22,0	0,90	0,96	3200	10	48 000
8	30,0	0,91	0,96	4000	10	60 000
9	37,0	0,90	0,96	3500	10	70 000
10	45,0	0,91	0,96	4000	10	85 000

Для всіх варіантів умовний коефіцієнт викидів прийняти:

$k = 0{,}4$ кг CO_2-екв./кВт·год.

Значення тарифу та коефіцієнта викидів наведені як навчальні припущення для виконання розрахунків, а не як офіційні показники для реальних підприємств.

8. Вимоги до оформлення звіту

Звіт про виконання практичної роботи повинен містити:

1. Назву практичної роботи.
2. Мету роботи.
3. Вихідні дані відповідно до індивідуального варіанта.
4. Основні теоретичні відомості та розрахункові формули.
5. Послідовність виконання розрахунків із зазначенням формул, підстановкою числових значень і результатами.
6. Зведену таблицю отриманих результатів.
7. Аналіз енергетичної, економічної та екологічної ефективності запропонованого заходу.
8. Висновок за результатами виконаної роботи.

Розрахунки повинні супроводжуватися поясненнями, а всі отримані результати — мати відповідні одиниці вимірювання. Під час оформлення звіту необхідно дотримуватися єдиного позначення фізичних величин і використовувати коректну точність обчислень.

9. Контрольні запитання

1. Що розуміють під енергозбереженням та енергоефективністю?
2. Які основні напрями підвищення енергоефективності промислових підприємств?
3. Чому заміна електродвигуна на двигун із вищим ККД може забезпечити економію електроенергії?
4. Як визначається споживана електрична потужність електродвигуна?
5. Які чинники впливають на річне споживання електроенергії обладнанням?
6. Як визначити абсолютну та відносну економію електроенергії?
7. Як розраховується річна економія коштів від упровадження енергозберігального заходу?
8. Що характеризує простий термін окупності капітальних вкладень?

9. Які чинники можуть впливати на фактичний термін окупності енергоефективного обладнання?
10. Як визначається скорочення викидів парникових газів унаслідок економії електроенергії?
11. Чому для екологічної оцінки необхідно використовувати обґрунтований коефіцієнт викидів?
12. Які переваги має комплексне оцінювання енергетичної, економічної та екологічної ефективності заходів з енергозбереження?

10. Очікувані результати виконання практичної роботи

Після виконання практичної роботи студент повинен:

Знати:

- основні показники енергетичної ефективності електрообладнання;
- методи визначення споживаної потужності та річного споживання електроенергії;
- принципи оцінювання економічної ефективності заходів з енергозбереження;
- методику розрахунку простого терміну окупності інвестицій;
- основні підходи до оцінювання скорочення викидів парникових газів.

Уміти:

- визначати споживану потужність електродвигуна за заданими параметрами;
- розраховувати річне споживання електроенергії до та після модернізації;
- визначати абсолютну й відносну економію електроенергії;
- розраховувати економію коштів від упровадження енергоефективного обладнання;
- визначати простий термін окупності капітальних вкладень;
- оцінювати можливе скорочення викидів парникових газів;
- аналізувати отримані результати та обґрунтовувати доцільність упровадження енергозберігальних заходів.

11. Критерії оцінювання

Оцінювання результатів виконання практичної роботи здійснюється за п’ятибальною шкалою з урахуванням правильності розрахунків, повноти виконання завдань, обґрунтованості висновків і якості оформлення звіту.

Кількість балів	Критерії оцінювання
5 балів	Практичну роботу виконано повністю. Усі завдання розв’язані правильно, розрахунки здійснені послідовно з правильним використанням формул та одиниць вимірювання. Студент демонструє глибоке розуміння екологічних проблем енергетики, уміє аналізувати отримані результати, обґрунтовувати природоохоронні заходи та формулювати змістовні висновки. Звіт оформлено відповідно до вимог.
4 бали	Практичну роботу виконано в повному обсязі, проте допущено незначні помилки або неточності в окремих розрахунках, поясненнях чи оформленні звіту. Студент загалом правильно розуміє сутність екологічних проблем, може пояснити отримані результати та запропонувати доцільні природоохоронні заходи.

3 бали	Практичну роботу виконано частково або з окремими суттєвими помилками. Розрахунки містять неточності, пояснення результатів недостатньо обґрунтовані, висновки мають загальний характер. Студент демонструє базове розуміння теми, але відчуває труднощі під час аналізу екологічних наслідків і вибору природоохоронних заходів.
2 бали	Практичну роботу виконано на недостатньому рівні. Значну частину завдань не виконано або розрахунки містять суттєві помилки. Студент не може належним чином пояснити використані формули, проаналізувати результати та сформулювати обґрунтовані висновки. Звіт не відповідає основним вимогам до оформлення.

12. Висновки

Виконання практичної роботи дає змогу закріпити теоретичні знання щодо методів ощадного використання енергії та набути практичних навичок оцінювання ефективності енергозберігальних заходів.

У процесі розрахунків студенти визначають споживану електричну потужність обладнання, річне споживання електроенергії, абсолютну й відносну економію, фінансові заощадження та простий термін окупності капітальних вкладень. Окремо оцінюється екологічний результат упровадження заходу через визначення можливого скорочення викидів парникових газів.

Отримані результати демонструють, що модернізація електрообладнання та впровадження енергоефективних технологій можуть забезпечувати одночасне зменшення енергетичних витрат, підвищення економічної результативності виробництва та скорочення негативного впливу на довкілля.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20
2. Про основні засади державної кліматичної політики : Закон України від 08.10.2024 № 3991-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/3991-20
3. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12
4. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 № 2707-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2707-12
5. Про затвердження Технічного регламенту енергетичного маркування джерел світла : наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 23.02.2024 № 172. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0540-24
6. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html
7. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html
8. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/2015 of 11 March 2019 with regard to energy labelling of light sources. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2015
9. ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization. URL: https://www.iso.org/standard/69426.html
10. ISO 50004:2020. Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an ISO 50001 energy management system. International Organization for Standardization. URL: https://www.iso.org/standard/74863.html

Рекомендовано використовувати:

- **Тема 4** — джерела 1, 2, 6: енергоефективність, кліматична політика та оцінювання викидів парникових газів.
- **Тема 5** — джерела 3, 4, 6, 7: охорона довкілля, забруднення атмосферного повітря, розрахунок викидів і екологічні наслідки енергетичної діяльності.
- **Тема 7** — джерела 1, 5, 8, 9, 10: енергозбереження, енергетичне маркування та управління енергетичною ефективністю.

АНОТАЦІЯ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи екології енерговикористання» призначені для здобувачів освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» та спрямовані на закріплення теоретичних знань і формування практичних навичок оцінювання енергетичних, економічних та екологічних показників функціонування енергетичних систем і технологічного обладнання.

У методичних рекомендаціях наведено завдання, розрахункові залежності, вихідні дані та послідовність виконання практичних робіт за темами «Сталий розвиток та пом'якшення клімату», «Проблеми екології, пов'язані з енергетикою» та «Методи ощадного використання енергії» змістовного модулю ІІ «Ефективні методи збереження енергії». Розглянуто методи визначення споживання електричної енергії та оцінювання ефективності енергоощадного освітлення, розрахунку викидів забруднювальних речовин і парникових газів, визначення ефективності газоочисного обладнання та оцінювання теплового впливу енергетичних об'єктів на водні екосистеми. Окрему увагу приділено визначенню енергетичної й економічної ефективності модернізації електроприводу, розрахунку заощадження електроенергії, строку окупності інвестицій та скорочення викидів парникових газів.

Виконання практичних робіт сприяє розвитку навичок проведення інженерних розрахунків, аналізу отриманих результатів, порівняння альтернативних технічних рішень та обґрунтування доцільності впровадження енергозберігальних і природоохоронних заходів. Методичні рекомендації містять приклади виконання завдань, індивідуальні вихідні дані та вимоги до оформлення звітів, що забезпечує можливість послідовного й самостійного виконання практичних робіт.

Матеріали можуть бути використані під час аудиторних практичних занять і самостійної підготовки здобувачів освіти, а також для формування професійних умінь щодо раціонального використання енергетичних ресурсів, підвищення енергоефективності та зменшення негативного впливу енергетичної діяльності на навколишнє природне середовище.

Ключові слова: основи екології енерговикористання, практичні роботи, енергоспоживання, енергоефективність, енергозбереження, сталий розвиток, екологічний вплив, викиди забруднювальних речовин, парникові гази, газоочисне обладнання, електропривод, енергетичні розрахунки, економічна ефективність, строк окупності, охорона навколишнього природного середовища.

Навчально-методичне видання

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ

Ефективні методи збереження енергії

Методичні рекомендації

до практичних робіт для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю:

G3 «Електрична інженерія»

Укладачі: ***Л.Г. Віхрова***
М. С. Мірошніченко
В.В. Зінзура