

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»**

**Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем**

**Монтаж та обслуговування сонячних
електростанцій з системами накопичення енергії**

Методичні вказівки

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка
Освітня програма	Електронні системи
Статус дисципліни	обов'язкова
Мова навчання	українська

СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
електронних систем.
Протокол №10
від 22.06.2025р.

Методичні вказівки з навчальної дисципліни «Монтаж та обслуговування сонячних електростанцій з системами накопичення енергії» для здобувачів вищої освіти галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво, спеціальності G5 Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка, освітньої програми Електронні системи.

Розробники: Заяць Т.М., к.ф.-м.н.,доц., кафедра електронних систем,
Юркін І.М., к.ф.-м.н.,доц., кафедра електронних систем,
Іваницький В.П., доктор фіз.-мат. наук, проф., кафедра
приладобудування.

Рецензент: Сусліков Л.М., доктор фіз.-мат. наук, проф., кафедра прикладної фізики і квантової електроніки

ВСТУП

Сучасна енергетика переживає фундаментальні трансформації, обумовлені як глобальними викликами зміни клімату, так і необхідністю забезпечення енергетичної безпеки, підвищення ефективності використання ресурсів, інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у традиційні енергосистеми. В умовах зростаючої ролі децентралізованої генерації, розвитку технологій накопичення енергії та цифровізації енергетичних процесів, підготовка фахівців, здатних проектувати, впроваджувати та обслуговувати сучасні сонячні електростанції (СЕС) з системами накопичення енергії, стає надзвичайно важливою для економіки України та світу.

Курс «Монтаж та обслуговування сонячних електростанцій з системами накопичення енергії» є відповіддю на ці виклики та потреби ринку. Його структура охоплює як фундаментальні теоретичні основи електроенергетики, так і практичні аспекти проектування, монтажу, експлуатації та сервісного обслуговування сучасних СЕС. Такий підхід забезпечує формування у слухачів цілісного уявлення про всі етапи життєвого циклу сонячної енергетичної установки — від вибору обладнання до інтеграції у розумні енергомережі (Smart Grid), аналізу техніко-економічної ефективності та дотримання екологічних і нормативних вимог.

Особливістю даного курсу є його чітка практична орієнтація. Кожен теоретичний модуль супроводжується практичними заняттями та лабораторними роботами, які дозволяють слухачам не лише засвоїти основи, а й набути реальних навичок роботи з обладнанням, схемами, програмним забезпеченням для моніторингу та діагностики СЕС. В процесі навчання студенти виконують повний цикл робіт — від аналізу енергоспоживання об'єкта, розрахунку необхідної потужності, підбору компонентів, складання електричних схем, до монтажу, тестування, введення в експлуатацію та обслуговування системи.

Важливо, що курс охоплює питання безпеки, дотримання стандартів та нормативів, що є обов'язковою умовою для професійної діяльності у сфері енергетики. Значна увага приділяється інтеграції систем накопичення енергії, що є трендом сучасної енергетики й дозволяє підвищити автономність, надійність та економічну ефективність СЕС.

Даний курс вирізняється комплексністю, системністю, поєднанням фундаментальної теорії з практикою, актуальністю та адаптацією до сучасних вимог ринку. Він інтегрує:

- сучасні підходи до проектування, монтажу, експлуатації СЕС з накопиченням енергії;

- практичні кейси, лабораторні роботи, реальні приклади з українських і міжнародних проєктів;

- аналіз нормативної бази, екологічних стандартів, вимог до сертифікації обладнання;

- цифрові технології моніторингу, диспетчеризації, управління потоками енергії;

питання економічної ефективності, фінансового планування, державних і міжнародних програм підтримки ВДЕ.

Курс «Монтаж та обслуговування сонячних електростанцій з системами накопичення енергії» є освітнім продуктом, що поєднує фундаментальну теорію, сучасні технології, практичні навички, актуальні стандарти та вимоги ринку. Він створює умови для підготовки висококваліфікованих фахівців, здатних вирішувати складні завдання сучасної енергетики, сприяє розвитку галузі, підвищенню енергетичної незалежності та сталого розвитку України.

Завдяки комплексному підходу, актуальності, практичній орієнтації, відповідності сучасним вимогам і стандартам, курс має високу значущість для системи освіти, енергетичного ринку та суспільства загалом.

МОДУЛЬ 1

Лекція 1. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ. ВИДИ ГЕНЕРАЦІЇ

Мета: Ознайомити слухачів із принципами роботи енергетичної системи, класифікацією джерел електроенергії та їхньою роллю у загальному енергетичному балансі.

Зміст:

- Поняття енергетичної системи
- Поняття потужності, споживання, балансу
- Види генерації: ТЕС, ГЕС, АЕС, ВДЕ (відновлювані джерела енергії)
- Об'єднана енергосистема України
- Проблеми енергетичного балансу та нестабільності

Ключові терміни:

електростанція, баланс потужності, генерація, ТЕС, ВДЕ, мережа, активна та реактивна потужність

Контрольні питання:

1. Які основні типи електростанцій вам відомі?
2. Що таке баланс потужності?
3. Які переваги й недоліки у традиційної генерації?

Лекція 2. ОСНОВИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. ПЕРЕВАГИ Й ОБМЕЖЕННЯ

Мета: Дати базове розуміння сонячної енергетики, її фізичних основ та практичних аспектів застосування.

Зміст:

- Сонячне випромінювання: характеристика, інсоляція
- ККД фотоперетворення
- Історія розвитку сонячної енергетики
- Переваги: екологічність, доступність, модульність
- Недоліки: залежність від погоди, потреба в накопиченні

Ключові терміни:

інсоляція, фотон, фотоелемент, ККД, перетворення енергії

Контрольні питання:

1. Що таке інсоляція?
2. У чому полягає принцип роботи сонячного фотоелемента?
3. Назвіть обмеження використання сонячної енергії в побуті.

Лекція 3. ТИПИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Мета: Ознайомити слухачів із класифікацією сонячних електростанцій (СЕС) за схемами підключення.

Зміст:

- Автономні СЕС: особливості, застосування
- Мережеві СЕС: принципи роботи з мережею
- Гібридні СЕС: переваги та недоліки
- Приклади реальних рішень

Ключові терміни:

мережева СЕС, автономна СЕС, гібридна система, інвертор, лінія AC/DC

Контрольні питання:

1. Які особливості автономних СЕС?
2. У чому полягає гібридна схема СЕС?
3. Чому в побуті популярні гібридні рішення?

Лекція 4. ФОТОЕЛЕМЕНТИ: ПРИНЦИП РОБОТИ, ТИПИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ

Мета: Надати знання про фізичні принципи роботи фотоелементів і види фотомодулів.

Зміст:

- Будова та принцип дії кремнієвого фотоелемента
- Типи фотоелементів: монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові
- Ключові характеристики: потужність, напруга, струм, ККД
- Вимоги до розміщення фотомодулів

Ключові терміни:

фотоелемент, фотомодуль, струм короткого замикання, напруга холостого ходу, P_{max}

Контрольні питання:

1. У чому відмінність між моно- та полікристалічними панелями?
2. Які параметри вказують на паспорті фотомодуля?
3. Що таке точка максимальної потужності (MPPT)?

Лекція 5. ІНВЕРТОРИ: ТИПИ, ПРИНЦИП ДІЇ, ВИБІР

Мета: Надати слухачам знання про принцип роботи інверторів, їх види та вибір за призначенням.

Зміст:

- Призначення інвертора: перетворення DC \rightarrow AC
- Типи: мережеві, автономні, гібридні
- Основні параметри: потужність, напруга, ККД, форма сигналу
- MPPT (maximum power point tracking) — принцип і користь

Ключові терміни:

інвертор, MPPT, PWM, синусоїда, чиста синусоїда

Контрольні питання:

1. Для чого в СЕС потрібен інвертор?
2. Які параметри важливі при виборі інвертора?
3. Яка різниця між MPPT і PWM технологією?

МОДУЛЬ 2

Лекція 6. КОНТРОЛЕРИ ЗАРЯДУ: ПРИЗНАЧЕННЯ, ТИПИ, ВИБІР

Мета: Ознайомити слухачів із контролерами заряду, їхньою функцією в СЕС, типами та методами вибору.

Зміст:

- Роль контролера у СЕС: керування зарядом АКБ
- Типи контролерів: PWM та MPPT
- Принципи роботи, ефективність
- Вибір контролера під конфігурацію панелей та АБ
- Захисти: від перенапруги, глибокого розряду, КЗ

Ключові терміни:

контролер заряду, MPPT, PWM, глибокий розряд, захист АКБ

Контрольні питання:

1. У чому різниця між MPPT і PWM-контролерами?
2. Чим небезпечний глибокий розряд АКБ?
3. Які функції виконує контролер у сонячній системі?

Лекція 7. АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ: ТИПИ, ПАРАМЕТРИ, ВИБІР

Мета: Надати слухачам знання про типи АКБ, характеристики, методи підбору для СЕС.

Зміст:

- Поняття накопичувача енергії
- Типи: свинцево-кислотні (AGM, GEL), літій-іонні, NiCd, NiMH
- Основні параметри: ємність, напруга, кількість циклів
- Розрахунок потреби в ємності за споживанням
- Порівняння типів: переваги, недоліки

Ключові терміни:

АБ, ємність, цикл заряд-розряд, DOD, SOC

Контрольні питання:

1. Як розраховується потрібна ємність АБ?
2. Які типи акумуляторів найбільш довговічні?
3. Що таке глибина розряду (DOD)

Лекція 8. СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ: АРХІТЕКТУРА І КОМПОНЕНТИ

Мета: Ознайомити з архітектурою СНЕ та їхнім місцем у системі СЕС.

Зміст:

- Роль накопичувачів у балансуванні генерації/споживання
- Структура: АКБ, контролер заряду, інвертор, захисти

- Типи архітектур: централізовані, модульні
- Приклади промислових і побутових СНЕ

Ключові терміни:

СНЕ, енергетичний баланс, BMS, системна інтеграція

Контрольні питання:

1. Які ключові функції СНЕ?
2. У чому перевага модульної архітектури?
3. Яку роль виконує BMS у літій-іонних системах?

Лекція 9. АЛГОРИТМИ ЗАРЯДУ/РОЗРЯДУ. СИСТЕМИ ЗАХИСТУ

Мета: Розглянути алгоритми заряджання/розряджання АКБ та вбудовані захисти систем.

Зміст:

- Заряд АКБ: Bulk, Absorption, Float
- Алгоритми розряду: контроль глибини DOD
- Основні захисти: перенапруга, перегрів, КЗ
- Роль BMS у літій-іонних системах
- Моніторинг SOC, SOH

Ключові терміни:

Bulk, Float, SOC, SOH, термозахист

Контрольні питання:

1. Які етапи проходить заряд АКБ?
2. Що таке SOC і як він визначається?
3. Як контролюється глибина розряду?

Лекція 10. ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕС: МОДУЛІ, ІНВЕРТОРИ, АБ

Мета: Навчити підбирати обладнання для СЕС під конкретне навантаження.

Зміст:

- Аналіз навантаження: добова потреба
- Підбір фотомодулів: потужність, конфігурація
- Підбір інвертора за потужністю і типом
- Розрахунок АБ за добовим споживанням та DOD
- Приклади розрахунків

Ключові терміни:

профіль навантаження, пікова потужність, автономність, резервація

Контрольні питання:

1. Як визначити потрібну кількість панелей?
2. Як розрахувати мінімальну ємність АБ?
3. Який інвертор вибрати для 2.5 кВт побутового навантаження?

МОДУЛЬ 3

Лекція 11. МОНТАЖ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СЕС: ЕТАПИ І ОСОБЛИВОСТІ

Мета: Описати технологію встановлення СЕС на об'єкті.

Зміст:

- Підготовка майданчика, аналіз інсоляції
- Монтаж конструкцій, укладання кабелю
- Підключення модулів, інвертора, АКБ
- Пуско-налагоджувальні роботи
- Профілактика і планове обслуговування

Ключові терміни:

заземлення, інсоляційний аналіз, пусконаладка, техобслуговування

Контрольні питання:

1. Які етапи монтажу СЕС?
2. Як часто проводиться профілактика обладнання?
3. Які вимоги до кабельного з'єднання фотомодулів?

Лекція 12. ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ПРИ РОБОТІ З СЕС

Мета: Надати знання з правил безпечного монтажу та експлуатації СЕС.

Зміст:

- Основні електротравмонебезпечні ситуації
- Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)
- Вимоги до монтажу кабелів, щитів, АКБ
- Робота під напругою та її заборона
- Вимоги ДБН та ПУЕ

Ключові терміни:

електротравма, ЗІЗ, ПУЕ, заземлення, щитове устаткування

Контрольні питання:

1. Які ЗІЗ обов'язкові при монтажі СЕС?
2. Як правильно організувати заземлення системи?
3. Які ризики пов'язані з АКБ?

Лекція 13. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ (SMART GRID) ТА ІНТЕГРАЦІЯ СЕС

Мета: Ознайомити з принципами побудови Smart Grid та можливістю інтеграції СЕС і систем накопичення в такі мережі.

Зміст:

- Що таке Smart Grid?
- Взаємодія СЕС з мережею: двосторонній обмін енергії
- Роль СНЕ у Smart Grid: балансування, буферизація

- Інтелектуальні лічильники (Smart Meters)
- Системи диспетчеризації та моніторингу

Ключові терміни:

Smart Grid, Smart Meter, диспетчеризація, децентралізована генерація, енергетичний хаб

Контрольні питання:

1. Які основні функції Smart Grid?
2. Як СЕС і СНЕ можуть допомагати мережі?
3. Яку роль виконує «розумний» лічильник?

Лекція 14. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ СЕС З НАКОПИЧЕННЯМ

Мета: Надати методику техніко-економічної оцінки проєктів СЕС з урахуванням накопичення енергії.

Зміст:

- Основні показники: капітальні та експлуатаційні витрати
- Окупність, строк служби, LCOE
- Вартість АКБ та вплив на економіку СЕС
- Зелені тарифи, пільги, державні програми
- Приклад ТСО-розрахунку

Ключові терміни:

CAPEX, OPEX, LCOE, TCO, зелений тариф, строк окупності

Контрольні питання:

1. Що таке LCOE і як він використовується?
2. Як впливає тип АКБ на строк окупності?
3. Які існують фінансові стимули для СЕС в Україні?

Лекція 15. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ, СТАНДАРТИ І НОРМАТИВНА БАЗА

Мета: Ознайомити з екологічними, правовими та нормативними вимогами до СЕС і накопичувачів.

Зміст:

- Екологічна безпека: виробництво, утилізація АКБ
- ДБН, ПУЕ, ISO 50001, ІЕС 62109
- Вимоги до документації СЕС
- Розміщення обладнання згідно з нормами
- Роль технічного паспорта, сертифікації обладнання

Ключові терміни:

вуглецевий слід, ПУЕ, ДБН, утилізація АКБ, сертифікація

Контрольні питання:

1. Які екологічні проблеми пов'язані з утилізацією АКБ?
2. Які основні нормативи регулюють роботу СЕС?
3. Які документи потрібні для легальної установки побутової СЕС?

ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття 1. ЧИТАННЯ СХЕМ ТА ПЛАНІВ СЕС

Мета: Навчити студентів читати електротехнічні схеми сонячних електростанцій (СЕС) і визначати основні елементи системи.

Завдання:

- Ознайомитися з умовними позначеннями на схемах
- Визначити компоненти на принципових і монтажних схемах
- Прочитати схему автономної/мережевої/гібридної СЕС

Короткий опис:

Слухачі отримують приклади однолінійних та структурних схем СЕС (на папері або на комп'ютері) і визначають компоненти, напрямки потоків енергії, місця підключення.

Інструменти:

- Принципові схеми СЕС
- Маркування DIN/ГОСТ
- Онлайн-інструмент (типу PV*Sol Viewer, AutoCAD)

Контрольні питання:

1. Яка різниця між однолінійною і принциповою схемою?
2. Що таке точка загального підключення (Point of Coupling)?
3. Як позначаються фотомодулі, інвертори, АКБ?

Практичне заняття 2. ОЦІНКА ІНСОЛЯЦІЇ ТА ВИБІР МІСЦЯ ДЛЯ СЕС

Мета: Навчити оцінювати ефективність сонячного освітлення та вибирати оптимальне місце для встановлення фотомодулів.

Завдання:

- Ознайомитися з поняттями «інсоляція», «азимут», «кут нахилу»
- Провести розрахунок сонячного потенціалу
- Обрати найкращу орієнтацію модулів

Короткий опис:

Учасники виконують заміри за допомогою сонячного компаса, гугл-карт, мобільного додатку (наприклад, PVGIS або Solar Pathfinder) для моделювання сонячної генерації на даху або ділянці.

Інструменти:

- Компас, кутівимірювальний пристрій
- Онлайн-сервіси: PVGIS, SunCalc, SolarEdge Designer

Контрольні питання:

1. Що таке оптимальний кут нахилу панелей для вашого регіону?
2. Як впливають тіні на ефективність СЕС?
3. Яке значення має орієнтація модулів на південь?

Практичне заняття 3. ПІДБІР СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ

Мета: Навчити розраховувати необхідну кількість фотомодулів відповідно до навантаження.

Завдання:

- Визначити добове споживання електроенергії
- Обрати тип панелі та кількість штук
- Підібрати конфігурацію (послідовне/паралельне з'єднання)

Короткий опис:

На основі типового побутового навантаження (наприклад, 6 кВт·год/день) студенти підбирають тип фотомодуля, його характеристики та кількість панелей з урахуванням сезонності.

Інструменти:

- Технічні паспорти панелей (datasheets)
- Калькулятори PV-систем
- Ексель-файл з шаблоном розрахунку

Контрольні питання:

1. Як визначити добове енергоспоживання?
2. Як пов'язаний кут нахилу з ефективністю?
3. Що дає паралельне з'єднання фотомодулів?

Практичне заняття 4. СКЛАДАННЯ МАСИВУ ФОТОМОДУЛІВ (МАКЕТ)

Мета: Засвоїти базові навички монтажу фотомодулів на опорну конструкцію з дотриманням безпеки.

Завдання:

- Підібрати кріплення для дахової/наземної установки
- Встановити макет панелей на каркас
- Підключити електричну частину

Короткий опис:

Слухачі на тренажері або макеті встановлюють кілька фотомодулів на профіль (каркас), підключають до контролера, перевіряють полярність.

Інструменти:

- Профілі для кріплення, клеми, кабель
- Макет сонячної панелі
- Вольтметр

Контрольні питання:

1. Який крок між кріпленнями панелей на профілі?
2. Як визначити полярність при з'єднанні модулів?
3. Що таке MC4-конектор і як ним користуватись?

Практичне заняття 5. РОЗРАХУНОК ПЕРЕТИНУ КАБЕЛІВ ДЛЯ СЕС

Мета: Навчити розраховувати перетин провідника для з'єднання фотомодулів, інвертора та АБ.

Завдання:

- Обрати допустимі струми для елементів СЕС
- Розрахувати перетин за потужністю та відстанню
- Підібрати кабель відповідного типу (PV1-F, NYU, ін.)

Короткий опис:

Слухачі визначають довжину кабелю, розраховують падіння напруги та визначають мінімальний перетин для безпечної передачі потужності від панелей до інвертора.

Інструменти:

- Онлайн-калькулятор або формула:
$$S=2 \cdot L \cdot I_{\gamma} \cdot \Delta U_S = \gamma \cdot \Delta U^2 \cdot L \cdot I$$
- Таблиці допустимих струмів, Excel-файл

Контрольні питання:

1. Чому важливо обмежити падіння напруги?
2. Як вибрати тип кабелю для зовнішньої прокладки?
3. Який максимальний струм витримує кабель 4 мм²?

Практичне заняття 6. ПІДБІР ІНВЕРТОРА ДЛЯ СЕС

Мета: Навчити підбирати інвертор за типом системи, навантаженням, напругою та умовами експлуатації.

Завдання:

- Визначити тип СЕС (мережева/автономна/гібридна)
- Розрахувати пікове та середнє навантаження
- Обрати інвертор з відповідними параметрами (номінальна потужність, вхідна напруга, тип фази)

Короткий опис:

На основі розрахованого навантаження студенти аналізують технічні характеристики інверторів різних типів і вибирають оптимальний варіант для заданої конфігурації СЕС.

Інструменти:

- Технічні паспорти (datasheets) інверторів
- Шаблон порівняння параметрів
- Каталоги виробників (Victron, Growatt, Fronius)

Контрольні питання:

1. Чим відрізняється гібридний інвертор від мережевого?
2. Що таке коефіцієнт перевантаження інвертора?
3. На що впливає напруга батарейного входу?

Практичне заняття 7. РОЗРАХУНОК ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

Мета: Навчити визначати потрібну ємність АБ для покриття нічного або аварійного споживання.

Завдання:

- Розрахувати добове/нічне споживання (Wh)
- Визначити DOD (глибину розряду) для обраного типу АБ
- Обрати кількість акумуляторів за напругою та ємністю

Короткий опис:

Слухачі отримують побутове навантаження (наприклад: холодильник, освітлення, насос) і обчислюють потребу в АБ. Потім вибирають оптимальну конфігурацію літєвої або свинцевої батареї.

Інструменти:

- Таблиці споживання
- Калькулятор DOD
- Excel-файл з формулами

Контрольні питання:

1. Що таке DOD і як він впливає на розмір АКБ?
2. Чому важливо враховувати запас ємності?
3. У чому перевага літєвих АБ перед свинцевими?

Практичне заняття 8. ПІДБІР КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДУ ДО ФОТОМОДУЛІВ

Мета: Навчити розраховувати та вибирати контролер заряду залежно від конфігурації панелей і типу АБ.

Завдання:

- Обчислити напругу та струм масиву фотомодулів
- Визначити сумісність з АКБ
- Обрати MPPT або PWM контролер

Короткий опис:

На прикладі 3–4 панелей у різних конфігураціях студенти визначають необхідний струм і напругу контролера, перевіряють умови роботи (температура, потужність).

Інструменти:

- Datasheets панелей та контролерів
- Онлайн-калькулятор MPPT/Вхідної потужності
- Шаблон підбору контролера

Контрольні питання:

1. Як розрахувати струм, який проходить через контролер?
2. Чим ризикуює система при перевищенні допустимого струму?
3. Коли вибір MPPT обґрунтований економічно?

Практичне заняття 9. РОЗРАХУНОК ВТРАТ НАПРУГИ ТА ПОТУЖНОСТІ В КАБЕЛЯХ

Мета: Навчити оцінювати втрати напруги при передачі енергії на різні відстані та з різною потужністю.

Завдання:

- Розрахувати падіння напруги в лінії DC
- Визначити критичну довжину для заданого перетину
- Підібрати оптимальну довжину кабелю/перетин для мінімізації

втрат

Короткий опис:

Розглядаються випадки передачі енергії 1–5 кВт по 10–30 м кабелю. Студенти використовують формули та таблиці, щоб оцінити втрати та підібрати правильний кабель.

Інструменти:

- Формула:
 $\Delta U = 2 \cdot L \cdot I \cdot \rho$
- Онлайн-калькулятори
- Таблиці допустимих втрат

Контрольні питання:

1. Чому втрати у DC більші, ніж у AC?
2. Що впливає більше: довжина чи перетин?
3. Яке граничне падіння напруги допустиме у СЕС?

Практичне заняття 10. СКЛАДАННЯ ОДНОЛІНІЙНОЇ СХЕМИ СЕС

Мета: Навчити будувати спрощені електричні схеми на основі обраного обладнання.

Завдання:

- Побудувати схему з основних компонентів (панелі, контролер, АКБ, інвертор, навантаження)
- Нанести ключові параметри (номінали, типи захистів, маркування)

Короткий опис:

Студенти на основі раніше підбраного обладнання формують схему у вигляді однолінійного графіка (на папері або в онлайн-середовищі), зазначаючи головні елементи та з'єднання.

Інструменти:

- Онлайн-конструктори (draw.io, QElectroTech)
- Блок-схеми
- Приклад макета

Контрольні питання:

1. Які елементи обов'язково мають бути в однолінійній схемі?
2. Чим відрізняється однолінійна від принципової?
3. Яке маркування застосовується до захисного автомата?

Практичне заняття 11. РОЗРАХУНОК ЗАХИСТІВ: ЗАПОБІЖНИКИ, АВТОМАТИ, УЗО

Мета: Навчити підбирати і встановлювати засоби електрозахисту в системі СЕС.

Завдання:

- Визначити типи захисту: автомат, УЗО, DC відсічник
- Розрахувати номінали автоматів за струмом навантаження
- Обрати захист для інвертора, панелей, АКБ

Короткий опис:

На базі реального прикладу СЕС студенти підбирають правильні автомати (AC/DC), УЗО, запобіжники для кожного вузла (панелі, інвертор, АКБ), з урахуванням стандартів і характеристик обладнання.

Інструменти:

- Каталоги ABB, ETI, Schneider
- Таблиці струмів спрацювання
- Шаблон розрахунку

Контрольні питання:

1. Яка різниця між AC і DC автоматами?
2. Як обрати автомат для інвертора потужністю 3 кВт?
3. Які помилки при встановленні УЗО є критичними?

Практичне заняття 12. МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СИСТЕМИ

Мета: Навчити користуватися моніторинговими платформами для відстеження роботи СЕС та СНЕ.

Завдання:

- Підключити інвертор або контролер до Wi-Fi/LAN
- Ознайомитися з веб-інтерфейсом моніторингу (наприклад Victron VRM, Growatt Shine)
- Зчитати основні параметри: напруга, струм, SOC, потужність

Короткий опис:

На реальній або емуляційній платформі слухачі відслідковують показники роботи СЕС, аналізують ефективність генерації, заряд АКБ та навантаження, а також фіксують помилки системи.

Інструменти:

- Інвертор з модулем моніторингу
- Веб-панель (ShineServer, SolarMAN, Victron VRM)
- Смартфон або ноутбук

Контрольні питання:

1. Які параметри контролює система моніторингу?
2. Як дізнатись, що АБ недозаряджена?
3. Що означає SOC = 40%?

Практичне заняття 13. АНАЛІЗ ТИПОВИХ ПОМИЛОК МОНТАЖУ

Мета: Навчити виявляти та усувати поширені помилки при інсталяції СЕС і СНЕ.

Завдання:

- Розглянути приклади помилок (перемикання полярності, поганий контакт, беззаземлення)
- Діагностувати в реальній або моделюваній системі
- Запропонувати правильне рішення

Короткий опис:

Студенти працюють з набором прикладів неправильного монтажу.

Завдання:

знайти проблему, пояснити її вплив, виправити схему чи підключення відповідно до норм.

Інструменти:

- Фото/макети неправильних підключень
- Схеми з помилками
- Мультиметри

Контрольні питання:

1. Що буде, якщо переплутати «+» і «-» на АБ?
2. Які наслідки має погане заземлення?
3. Чим небезпечні погані контакти на МС4?

Практичне заняття 14. ФОРМУВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО КОШТОРИСУ ПРОЄКТУ СЕС

Мета: Навчити самостійно формувати бюджет проєкту СЕС з урахуванням обладнання, монтажу та пусконаладки.

Завдання:

- Зібрати вартість обладнання (панелі, інвертор, АБ, контролер)
- Визначити вартість монтажу, кабелю, кріплень
- Скласти кошторис з резервом

Короткий опис:

Слухачі на основі запропонованої конфігурації СЕС (5 кВт, з АКБ) розраховують повний бюджет проєкту, включаючи супутні витрати (транспорт, монтаж, ПДВ). Проводиться порівняння цін різних виробників.

Інструменти:

- Каталоги з цінами
- Таблиця Excel для кошторису
- Приклад кошторису

Контрольні питання:

1. Що входить у прямі та непрямі витрати?
2. Як обчислюється вартість монтажних робіт?
3. Який резерв варто передбачити в бюджеті?

Практичне заняття 15. ФІНАЛЬНИЙ ПРАКТИКУМ: РОЗРОБКА ВЛАСНОГО ПРОЄКТУ СЕС

Мета: Закріпити всі навички курсу через створення комплексного проєкту сонячної системи з накопиченням енергії.

Завдання:

- Розрахувати потужність СЕС під власний об'єкт (будинок, ферма тощо)
- Підібрати обладнання, побудувати схему
- Створити кошторис і паспорт системи

Короткий опис:

Студенти виконують проєкт від початку до кінця: оцінюють навантаження, формують схему, підбирають обладнання, рахують втрати, створюють фінансову модель та коротку презентацію.

Інструменти:

- Усі попередні шаблони
- Онлайн-конструктори схем
- Підручники/довідники

Контрольні питання:

1. Як підібрати баланс генерації/акумуляції?
2. Яка роль паспорта СЕС?
3. Як оцінити ефективність проєкту до встановлення?

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота 1. ЗБІРКА ФОТОМОДУЛЬНОГО СТЕНДУ

Мета: Засвоїти практичні навички з підключення фотомодулів до навчального стенду.

Завдання:

- Ознайомлення з монтажним комплектом
- Збірка модульного масиву (2–3 фотомодулі)
- Вимірювання напруги холостого ходу (V_{oc})

Обладнання:

- 2–3 фотомодулі (50–150 Вт)
- Рама/стенд або алюмінієвий профіль
- Мультиметр, кабель PV1-F, MC4-конектори

Контрольні питання:

1. Як перевірити полярність модуля?
2. Що таке V_{oc} і де його вимірювати?
3. Які типи з'єднання модулів використовують?

Лабораторна робота 2. ПІДКЛЮЧЕННЯ ПАНЕЛЕЙ ДО КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДУ

Мета: Навчитися підключати фотомодулі до контролера заряду та заряджати АКБ.

Завдання:

- З'єднання панелей із контролером (MPPT або PWM)
- Підключення АКБ до контролера
- Вимірювання струму заряду

Обладнання:

- 2 фотомодулі
- Контролер заряду (MPPT або PWM)
- Свинцево-кислотна АКБ (12 В, 40–100 А•г)
- Мультиметр, провідники, індикатор заряду

Контрольні питання:

1. Чому підключення АКБ виконується першим?
2. Що буде при неправильному з'єднанні МС4?
3. Які струми заряду допустимі для GEL АКБ?

Лабораторна робота 3. ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ, СТРУМУ І ПОТУЖНОСТІ СЕС

Мета: Освоїти базові вимірювання на DC стороні: V_{oc} , I_{sc} , потужність генерації.

Завдання:

- Провести вимірювання струму короткого замикання (I_{sc})
- Визначити потужність $P = U \times I$
- Побудувати вольт-амперну характеристику

Обладнання:

- Фотомодуль
- Регульоване навантаження або резистори
- Амперметр/мультиметр з clamp DC
- Блокнот або ПК з Excel для побудови графіка

Контрольні питання:

1. Як безпечно виміряти I_{sc} ?
2. Що таке MPP (максимальна потужність)?
3. Як зміна освітлення впливає на потужність?

Лабораторна робота 4. ЗАРЯД СВИНЦЕВО-КИСЛОТНОЇ АКБ

Мета: Дослідити алгоритм заряду АКБ, виміряти напругу на кожному етапі.

Завдання:

- Підключення до контролера і фотомодуля
- Відстеження фаз Bulk – Absorption – Float
- Побудова графіка напруга/час

Обладнання:

- АКБ типу AGM або GEL (12 В, 100 А•г)
- МРРТ-контролер з LCD або портом моніторингу
- Фотомодуль (150 Вт)
- Сонячний симулятор або лампа (за умов поганої погоди)

Контрольні питання:

1. У чому різниця між Bulk і Float?
2. Як змінюється струм у фазі Absorption?
3. Що буде при перезаряді АКБ?

Лабораторна робота 5. РОБОТА ІНВЕРТОРА В АВТОНОМНОМУ РЕЖИМІ

Мета: Ознайомитися з роботою автономного інвертора, відпрацювати запуск навантаження.

Завдання:

- Підключення інвертора до АБ
- Підключення побутового навантаження (лампа, чайник)
- Вимірювання напруги, потужності

Обладнання:

- Автономний інвертор (потужністю 1–3 кВт)
- АБ (12/24 В, 100 А•г)
- Набір побутового навантаження (лампа, вентилятор)
- Ватметр, мультиметр

Контрольні питання:

1. Що таке чиста синусоїда?
2. Який захист має інвертор?
3. Як визначити перевантаження?

Лабораторна робота 6. ТЕСТУВАННЯ ГЛИБОКОГО РОЗРЯДУ АКБ

Мета: Дослідити поведінку АКБ при розряді до допустимого рівня та визначити мінімальну напругу.

Завдання:

- Підключення АКБ до навантаження (лампа, резистор)
- Розряд до рекомендованої межі (11,0–11,5 В для 12 В АКБ)
- Побудова графіка напруга–час

Обладнання:

- Свинцева АКБ (12 В, 100 А•г)
- Навантаження (лампа 12 В або резистор)
- Вольтметр, таймер
- Термометр для АКБ

Контрольні питання:

1. Яка гранична напруга розряду для GEL/AGM?
2. Що таке DOD = 80%?
3. Як глибокий розряд впливає на термін служби АКБ?

Лабораторна робота 7. РОБОТА З ЛІТІЙ-ІОННОЮ АКБ ТА BMS

Мета: Ознайомити студентів із принципом дії літій-іонної батареї та системою управління BMS.

Завдання:

- Підключення АКБ LiFePO₄ через BMS
- Спостереження за напругою осередків
- Симуляція захисту (перевантаження, розряд)

Обладнання:

- Літій-іонна АКБ (12/24 В, 50–100 А•г)
- Вбудована або зовнішня BMS
- Інтерфейс моніторингу (Bluetooth-додаток або USB)
- Регульоване навантаження

Контрольні питання:

1. Для чого потрібна BMS?
2. Які режими захисту реалізує BMS?
3. Як контролюється балансування елементів?

Лабораторна робота 8. МОНІТОРИНГ ЧЕРЕЗ ІНТЕРФЕЙС ІНВЕРТОРА АБО КОНТРОЛЕРА

Мета: Навчитися підключати систему до ПК/смартфона та зчитувати дані.

Завдання:

- З'єднання інвертора або MPPT-контролера з ПК/смартфоном
- Перегляд вхідної/вихідної потужності, SOC, стану АКБ
- Виявлення помилок або відхилень

Обладнання:

- Інвертор або контролер з USB/RS485/Bluetooth
- Ноутбук або смартфон
- Програмне забезпечення (VictronConnect, Growatt, EPEver)

Контрольні питання:

1. Які дані можна зчитати через моніторинг?
2. Як визначити, що АКБ розряджена?
3. Які помилки можуть з'явитися у логах?

Лабораторна робота 9. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА РОБОТУ АКБ

Мета: Дослідити зміну ємності та напруги АКБ при різних температурах.

Завдання:

- Вимірювання напруги АКБ при +5°C, +20°C і +35°C
- Заряд і розряд у контрольованих температурних умовах
- Побудова графіка залежності SOC/напр. від температури

Обладнання:

- АКБ (AGM або LiFePO₄)

- Термометр або термопара
- Камера з підігрівом/охолодженням або ізоляційний бокс
- Мультиметр, навантаження

Контрольні питання:

1. Як температура впливає на ємність?
2. Які АКБ краще працюють при морозі?
3. Яка температура є критичною для заряджання літєвої АКБ?

Лабораторна робота 10. ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСТУ

Мета: Практично освоїти монтаж і перевірку захистів: запобіжників, автоматів, діодів, варисторів.

Завдання:

- Встановити захист між фотомодулями і контролером (запобіжник DC)
- Тестування автоматичного вимикача при перевантаженні
- Підключення захисного діода до зворотної полярності

Обладнання:

- Щит або макетна панель
- DC-автомат, запобіжник, варистор, діод Шоттки
- Мультиметр, блок живлення для тесту

Контрольні питання:

1. Як обрати номінал запобіжника?
2. Чим відрізняється DC-автомат від AC?
3. Як працює зворотний діод у ланцюзі панелі?

Лабораторна робота 11. ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЗЕМЛЕННЯ І ПЕРЕВІРКА КОНТУРІВ ЗАХИСТУ

Мета: Навчитися монтувати контур заземлення та перевіряти його ефективність.

Завдання:

- Підключити контур заземлення до інвертора/щитка
- Виміряти опір заземлення
- Перевірити реакцію захисту при пробі

Обладнання:

- Комплект заземлення (стрижень, дріт, клеми)
- Мегометр або тестер опору заземлення
- Мультиметр, схема захисту з УЗО

Контрольні питання:

1. Яким має бути опір заземлення?
2. Яке з'єднання використовують для мідного проводу?
3. Що буде при обриві заземлення в СЕС?

Лабораторна робота 12. ПІДКЛЮЧЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ SMART-ЛІЧИЛЬНИКА

Мета: Ознайомитися з принципом дії смарт-лічильника та навчитись зчитувати його дані.

Завдання:

- Підключити 1-фазний або 3-фазний лічильник
- Зчитати параметри: споживання, генерація, зворотній потік
- Інтеграція з інвертором/моніторинговою системою

Обладнання:

- Smart-лічильник (наприклад, DDSU666, Carlo Gavazzi)
- Інвертор або Gateway (Victron Cerbo, Growatt Shine)
- Лаптоп або смартфон із ПЗ

Контрольні питання:

1. Як лічильник визначає напрямок енергії?
2. Як виглядає схема підключення до мережі?
3. Що таке MODBUS?

Лабораторна робота 13. ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ З РЕЗЕРВНИМ ЖИВЛЕННЯМ (UPS-РЕЖИМ)

Мета: Перевірити реакцію системи СЕС на зникнення мережі та перемикання на АБ.

Завдання:

- Підключення до мережі з навантаженням
- Симуляція зникнення живлення
- Вимір часу перемикання

Обладнання:

- Гібридний або автономний інвертор з UPS-функцією
- АБ (наприклад, LiFePO₄, 24 В)
- Навантаження (лампа, ноутбук)
- Сеть, перемикач

Контрольні питання:

1. Який типовий час перемикання в UPS-режимі?
2. Як визначити пріоритет джерела живлення?
3. Який мінімальний SOC для роботи в UPS?

Лабораторна робота 14. ІНТЕГРАЦІЯ З ПОБУТОВИМ POWERWALL АБО МОДУЛЬНОЮ СЕБЕ

Мета: Ознайомити з принципами підключення домашніх накопичувачів енергії.

Завдання:

- Підключення Powerwall (чи Victron, Pylontech, WECO) до гібридного інвертора
- Перевірка режиму Self-Consumption

- Спостереження за потоками енергії

Обладнання:

- Побутовий накопичувач (Powerwall, Pylontech US2000C)
- Гібридний інвертор
- Інтерфейс моніторингу (локальний або хмарний)
- Розеткове навантаження

Контрольні питання:

1. У чому різниця між Powerwall і класичною АКБ?
2. Як визначити напрямок потоку енергії?
3. Що таке Self-Consumption Mode?

**Лабораторна робота 15. КОМПЛЕКСНЕ ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ
НАВЧАЛЬНОГО МАКЕТУ СЕС**

Мета: Провести повне налагодження та тестування всієї системи СЕС + СНЕ.

Завдання:

- Підключити модулі, контролер, АБ, інвертор, моніторинг
- Виміряти ефективність генерації
- Виявити можливі проблеми

Обладнання:

- Повний стенд: 2–4 фотомодулі, контролер, АБ, інвертор
- Моніторинг (веб-інтерфейс або локальний)
- Навантаження, мультиметри, ватметри

Контрольні питання:

1. Як обчислити загальний ККД системи?
2. Які вузли найбільш схильні до відмов?
3. Як виглядає правильний запуск системи?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаряжа В. М., Карюк А. О. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій». Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 149 с.
2. Зур'ян О. В. Екологічно безпечні відновлювальні джерела отримання теплової енергії: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. Харків: Харків. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна, 2016. 201 с.
3. Філюк Я. О. Світлотехнічні установки з автономним живленням: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.07. Тернопіль: Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2019. 136 с.
4. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Череватий В. О., Ул'янець О. А. Сонячна енергія – основні види та типи сонячних електростанцій // Автомобіль та електроніка. Сучасні технології. 2017. № 12. С. 12–21.
5. Стадник М. І., Рубаненко О. О., Бондаренко С. В. Визначення рівня генерації електроенергії на сонячній електростанції відносно її встановленої потужності // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. № 3(95). С. 213–220.
6. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Бурикін О. Б. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 122 с.
7. Лежнюк П. Д., Ковальчук О. А., Нікіторович О. В., Кулик В. В. Відновлювані джерела в розподільних електричних мережах: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 204 с.
8. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2017. 164 с.
9. Добровольська Л. Н., Волинець В. І., Собчук Л. С., Черкашина В. В. Електричні мережі з відновлювальними джерелами енергії: навч. посібник. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2016. 286 с.
10. Нікульшин В. Р., Височин В. В. Використання відновлювальних джерел енергії: навч. посібник. Одеса: Наука і техніка, 2006. 244 с.
11. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 403 с.
12. Соловей О. І., Ситник О. О., Розен В. П. [та ін.]; за заг. ред. О. І. Солов'я. Техніко-економічні розрахунки систем електропостачання промислових підприємств: навч. посібник. Черкаси: ЧДТУ, 2012. 247 с.
13. Соловей О. І. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: навч. посібник. Черкаси: ЧДТУ, 2007. 484 с.
14. Титко Р., Калініченко В. Відновлювальні джерела енергії. Полтава: Полтавська державна аграрна академія, 2010. 533 с.
15. Створення спільнот «зеленої» енергетики в Україні: практичний посібник / за ред. В. І. Вострякової, О. О. Рубаненко. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2023. 108 с.
16. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики [Електронний ресурс]. URL: https://sae.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE

17. Прокіп А. В., Дудюк В. С., Колісник Р. Б. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів: монографія. Львів: ЗУКЦ, 2015. 337 с.
18. Про відновлювану енергетику [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міжнародного енергетичного агентства. URL: <http://www.iea.org/topics/renewables/>
19. Сохацька О. М., Ляшенко О. М., Олейко В. М. [та ін.]; за заг. наук. ред. О. М. Сохацької. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: оцінка ефективності інвестиційних проектів: монографія. Тернопіль: ТНЕУ, 2012. 308 с.
20. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія сонця: навч. посібник. Львів, 2008. 135 с.
21. Ram M., Aghahosseini A., Breyer C. Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. Lappeenranta University of Technology, February 2020. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162518314112>
22. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text>
23. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П. Еволюція інтелектуальних енергетичних мереж та їхні перспективи в Україні // *Технічна електродинаміка*. 2012. № 5. С. 50–52.
24. Кириленко О. В., Павловський В. В., Яндульський О. Я., Стелюк А. О. Керування режимом роботи електростанції з відновлюваними джерелами енергії в умовах зміни частоти в енергосистемі // *Технічна електродинаміка*. 2012. № 4. С. 52–57.
25. Дикий М. О. *Поновлювані джерела енергії*. Київ: Вища школа, 1993. 351 с.
26. Herman D. Investigation of the Technical and Economic Feasibility of Micro-Grid-Based Power Systems. Final Report. December 2001. 107 p.
27. Кириленко О. В., Якименко Ю. І., Жуйков В. Я., Денисюк С. П. Перетворювачі параметрів електроенергії в Smart системах енергетики // *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. Спец. вип. (Мат. І Міжнар. наук.-техн. конф. «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС'10»). 2010. С. 17–23.
28. Якименко Ю. І., Сокол Є. І., Жуйков В. Я., Петергеря Ю. С., Іванін О. Л. Відновлювані джерела енергії у локальних об'єктах. Київ: ІВЦ «Політехніка», 2001. 114 с.
29. Петергеря Ю. С., Жуйков В. Я., Терещенко Т. О. Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків: навч. посібник. 2008. 258 с.
30. Абакумов В. Г. Оптимізація електрозатрат підприємства на основі вибору тарифних планов // *Електрика*. 2001. № 3. С. 15–19.

31. Кириленко О. В., Петергеря Ю. С., Терещенко Т. О., Жуйков В. Я. Інтелектуальні системи керування потоками електроенергії у локальних об'єктах. Київ: Аверс, 2005. С. 17–28.
32. Праховник А. В., Денисюк С. П., Коцар О. В. Принципи організації взаємодії компонент смарт мереж // *Технічна електродинаміка*. 2012. № 3. С. 51–52.
33. Рогоза В. С., Іщенко Г. В. Інтелектуальні платформи розподілених інформаційних середовищ. 2009. 358 с.
34. Кириленко О. В., Павловський В. В., Лук'яненко Л. М., Трач І. В. Проблеми інтеграції відновлювальних джерел електроенергії в «слабкі» електричні мережі // *Технічна електродинаміка*. 2012. № 3. С. 25–26.
35. Стогній Б. С., Сопель М. Ф. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу // *Технічна електродинаміка*. 2013. № 1. С. 62–68.
36. Якименко Ю. І. [та ін.] Відновлювані джерела енергії у локальних об'єктах. Київ: ІВЦ «Політехніка», 2001. 114 с.
37. Волківський В. Б. Адаптивний метод заряду акумуляторних батарей // *Технічна електродинаміка*. Темат. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». 2005. Ч. 2. С. 40–43.
38. Волківський В. Б. Пристрій для заряду асиметричним струмом акумуляторної батареї в буферному режимі // *Технічна електродинаміка*. Темат. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». 2004. Ч. 3. С. 21–24.
39. Ромашко В. Я. До питання про відбір максимальної потужності від джерел електричної енергії // *Електроніка і зв'язок*. 2013. № 4. С. 28–34.
40. Вербицький Є. В., Ромашко В. Я. Особливості пошуку точки максимальної потужності сонячної батареї методами холостого ходу і короткого замикання // *Електроніка і зв'язок*. 2013. № 5. С. 13–18.
41. Ромашко В. Я., Вербицький Є. В., Киричик Є. І. Аналіз втрат енергії в системі відбору максимальної потужності сонячної батареї // *Технічна електродинаміка*. 2014. № 4. С. 55–57.
42. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2012. 495 с.
43. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#Text>
44. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / За ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.
45. Покрокова інструкція монтажу СЕС [Електронний ресурс]. URL: <https://sun-energy.com.ua/articles/budivnytstvo-ses-2>
46. Монтаж СЕС [Електронний ресурс]. URL: <https://solensy.com.ua/ru/poslugu-solensy/montazh/>
47. Монтаж сонячної електростанції [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ecotech.ua/services/montazh-sonyachnoyi-elektrostantsiyi/>

48. Підключення сонячних панелей [Електронний ресурс]. URL: <https://www.atmosfera.ua/media/yak-vstanoviti-sonyachni-batareyi-dlya-domu>
49. Монтаж і установка сонячних панелей [Електронний ресурс]. URL: <https://energy-dk.com.ua/ru/montazh-ustanovka-solnechnyh-panelei/>
50. Професійний монтаж СЕС: послуги під ключ [Електронний ресурс]. URL: <https://sonceprom.com.ua/poslugi/profesiyniy-montazh-pid-klyuch-ses/>
51. Монтаж та підключення сонячних електростанцій [Електронний ресурс]. URL: <https://energyua.com.ua/ru/montazh-ta-pidkliuchennia-soniachnykh-elektrostantsii-yak-prokhodyt-protses-ustanovky-ses/>
52. Проектування та якісний монтаж СЕС [Електронний ресурс]. URL: <https://unisolar.energy/services/proyektuvannya-budivnicztvo-ta-yakisnij-montazh-ses/>
53. Монтаж СЕС на скатну покрівлю [Електронний ресурс]. URL: <https://teplodom.net.ua/montazh-ses-na-skatnuyu-kryshu/>
54. Монтажник СЕС (навчання) [Електронний ресурс]. URL: https://academy.atmosfera.ua/solar_installer
55. СЕС для підприємства [Електронний ресурс]. URL: <https://pa.ua/ses-biz/>