



# Системний підхід до проектування сонячних електростанцій

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 рік навчання, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити 120 годин (36 год. лекцій, 18 год. практичних, 18 годин лабораторних 48 год. СРС)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Босак Алла Василівна, тел. 050-729-50-67, email: <a href="mailto:alla_koz@ukr.net">alla_koz@ukr.net</a><sup>1</sup> Практичні / Семінарські: к.т.н., доцент, Босак Алла Василівна, тел. 050-729-50-67, email: <a href="mailto:alla_koz@ukr.net">alla_koz@ukr.net</a> Лабораторні: асистент Хотян Артем Анатолійович, тел.068-546-2207</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=511">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=511</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна "Системний підхід до проектування сонячних електростанцій" забезпечує вивчення повного циклу проектування сонячних фотоелектричних станцій, від технікоекономічного обґрунтування до розробки робочої документації. Студенти ознайомляться з методологією вибору компонентів, розрахунку генерації, аналізу сонячної інсоляції, а також з використанням спеціалізованого програмного забезпечення (PVsyst, Helioscope). Особлива увага приділяється нормативним вимогам, стандартам безпеки та економічній ефективності проєктів СЕС.

<sup>1</sup> Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

**Мета вивчення дисципліни** - надати студентам комплексні знання та практичні навички для системного проектування сонячних електростанцій різної потужності, з урахуванням технічних, економічних, правових та екологічних аспектів.

**Предметом** вивчення дисципліни є принципи, методи, етапи та інструменти проектування сонячних фотоелектричних станцій як єдиної технічної системи.

Програмні результати навчання: ПРН07 - здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах; ПРН08 - обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками; ПРН09 - уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

Компетентності: ФК01 - здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків; ФК03 - здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг; ФК16 - забезпечувати технологічність електротехнічного, електромеханічного та мехатронного устаткування та обладнання і процесів їх виготовлення для виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної енергії.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Навчальна дисципліна «Системний підхід до проектування сонячних електростанцій» викладається на основі знань та умінь, одержаних студентами під час вивчення кредитних модулів таких дисциплін як «Теоретичні основи електротехніки», «Електротехнічні матеріали», «Технічна механіка», «Теорія автоматичного керування». Отримані знання дозволять працювати у сфері відновлюваної енергетики як інженерпроектувальник СЕС, інженер з технічного аудиту, керівник проєктів з будівництва об'єктів сонячної генерації. Студенти зможуть розробляти техніко-економічні обґрунтування, проводити розрахунки генерації енергії, обирати оптимальне обладнання та створювати повний пакет проєктної документації для комерційних та промислових СЕС.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Навчальна дисципліна «Системний підхід до проектування сонячних електростанцій» складається з 4 розділів:

### **• Розділ 1. Основи проектування СЕС:**

Тема 1.1. Життєвий цикл проєкту СЕС. Класифікація СЕС.

Тема 1.2. Нормативна база та стандарти в галузі сонячної енергетики.

Тема 1.3. Вихідні дані для проектування. Технічне завдання.

### **• Розділ 2. Передпроектний аналіз та вибір майданчика:**

Тема 2.1. Вибір основного обладнання та архітектура системи.

Тема 2.2. Аналіз сонячних ресурсів. Робота з кліматичними базами даних. Вибір та оцінка земельної ділянки (даху). Геологічні та геодезичні вишукування.

Тема 2.3. Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) проєкту.

### **• Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС:**

Тема 3.1. Вибір фотоелектричних модулів (ФЕМ) та інверторного обладнання.

Тема 3.2. Проектування опорних конструкцій.

Тема 3.3. Проектування кабельної мережі постійного та змінного струму.

Тема 3.4. Системи захисту, моніторингу та заземлення.

### **• Розділ 4. Моделювання та економічна оцінка:**

- Тема 4.1. Моделювання продуктивності СЕС у спеціалізованому ПЗ (PVsyst).  
 Тема 4.2. Розрахунок основних економічних показників (LCOE, NPV, IRR, термін окупності).  
 Тема 4.3. Склад та оформлення проєктної документації.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова література:

1. Соловей, О. І., & Кириленко, О. В. (2018). Проєктування систем сонячного електропостачання. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.
2. Кудря, С. О. (2015). Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Київ: НТУУ «КПІ».
3. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с.
4. ДСТУ EN 62446-1:2018 Системи фотоелектричні (ФЕС). Вимоги до випробування, документації та технічного обслуговування. Частина 1. Інформація та документація системи (EN 62446-1:2016, IDT).
5. Посібники користувача для програмного забезпечення PVsyst, PV\*SOL.

##### Допоміжна література:

- Wakil, S. (2018). Power System Analysis: Practice and Theory. Springer.  
 2. Інтернет-ресурси: IRENA, SolarPower Europe, державні будівельні норми України (ДБН)..

*Літературу, бібліографія якої подана із посиланням, можна знайти в інтернеті. Літературу, бібліографія якої не містить посилання, можна знайти в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського. Обов'язковим для прочитання є окремі розділи базової літератури [1]-[5]. Розділи базової літератури, що є обов'язковими для прочитання, а також зв'язок цих ресурсів з конкретними темами дисципліни наводиться нижче, в методиці опанування навчальної дисципліни. Усі інші літературні джерела є факультативними, з ними рекомендується ознайомитись*

#### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

##### Лекційні заняття

Застосовуються стратегії активного навчання: лекції-презентації, практичні заняття з розв'язанням кейсових завдань, робота зі спеціалізованим програмним забезпеченням, виконання індивідуального комплексного проєкту.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу)
1-2	Розділ 1. Основи проєктування СЕС. Тема 1.1. <b>Лекція 1.</b> Вступ до проєктування сонячних електростанцій (СЕС). Зміст: Життєвий цикл проєкту СЕС: від ідеї до виведення з експлуатації. Основні етапи проєктування. Ключові терміни та визначення в сонячній енергетиці. Роль інженера-проєктувальника. Література: [1, 3]. Розділ 1. Основи проєктування СЕС. Тема 1.1. <b>Лекція 2.</b> Класифікація СЕС та їхні компоненти. Зміст: Типи СЕС: мережеві (On-Grid), автономні (Off-Grid), гібридні. Класифікація за місцем розміщення: наземні, дахові, інтегровані в будівлі (BIPV). Структурна схема СЕС та призначення її основних елементів. Література: [3, 6].
3-4	Розділ 1. Основи проєктування СЕС. Тема 1.2. <b>Лекція 3.</b> Нормативно-правова база та стандартизація в галузі СЕС. Зміст: Огляд ключових законів України, що регулюють відновлювану енергетику. Міжнародні та національні стандарти (ІЕС, ДСТУ) щодо проєктування, монтажу та експлуатації СЕС. Порядок отримання дозвільної документації. Література: [3, 6]. Розділ 1. Основи проєктування СЕС. Тема 1.3. <b>Лекція 4.</b> Формування вихідних даних для проєктування. Технічне завдання. Зміст: Перелік необхідних вихідних даних:

	інформація про об'єкт, вимоги замовника, умови підключення до мережі. Структура та правила складання технічного завдання (ТЗ) на проектування СЕС Література: [1, 2, 3].
5-6	Розділ 2. Передпроектний аналіз та вибір майданчика. Тема 2.1. <b>Лекція 5.</b> Вибір основного обладнання та архітектура системи: Методологія підбору ключового обладнання СЕС та формування ефективної архітектури системи. Література: [1, 2, 3]. Розділ 2. Передпроектний аналіз та вибір майданчика. Тема 2.2. <b>Лекція 6.</b> Вибір та аналіз майданчика для будівництва СЕС. Оцінка сонячних ресурсів Зміст: Критерії вибору земельної ділянки або даху. Проведення топографічних, геологічних та геодезичних вишукувань. Аналіз затінення (shading analysis) від навколишніх об'єктів. Література: [1, 2].
7-8	Розділ 2. Передпроектний аналіз та вибір майданчика. <b>Лекція 7.</b> Технікоеконімічне обґрунтування (ТЕО) проекту. Зміст: Мета та структура ТЕО. Попередній розрахунок основних параметрів СЕС: встановлена потужність, прогнозована генерація, вартість проекту. Оцінка доцільності інвестицій. Література: [1, 2]. Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 8.</b> Тема 2.3. Прогнозування генерації енергії з ФЕС. Фотоелектричні модулі (ФЕМ). Зміст: Технології виробництва ФЕМ: монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові. Основні електричні характеристики: вольт-амперна та вольт-ватна характеристики, параметри при STC та NOCT. Вплив температури та освітленості. Література: [3].
9-10	Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 9.</b> Тема: Інверторне обладнання. Зміст: Типи інверторів: стрінгові, центральні, мікроінвертори, гібридні. Принципи роботи, ККД, алгоритми відстеження точки максимальної потужності (MPPT). Критерії вибору інвертора для проекту. Література: [1]. Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 10.</b> Тема 3 Тема: Узгодження параметрів масиву ФЕМ та інвертора (DC-side design). Зміст: Розрахунок оптимальної кількості модулів у стрінгу (ланцюжку). Перевірка за обмеженнями напруги, струму та потужності інвертора з урахуванням температурних коефіцієнтів. Література: [5].
11-12	Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 11.</b> Опорні конструкції для ФЕМ. Зміст: Типи конструкцій: статичні (наземні, дахові), динамічні (трекери). Матеріали конструкцій. Основи розрахунку на вітрові та снігові навантаження згідно з ДБН. Література: [3, 4]. Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 12.</b> Тема: Проектування кабельної мережі постійного струму. Зміст: Вибір типів та марок сонячного кабелю. Розрахунок перерізу кабелів за допустимим струмом та втратами напруги. Вибір DC-конекторів та об'єднувальних коробок (combiner boxes). Література: [3, 4].
13-14	Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 13.</b> Тема: Проектування частини змінного струму (AC-side design). Зміст: Розробка однолінійної схеми підключення до мережі. Вибір кабелів змінного струму, комутаційної та захисної апаратури (автоматичні вимикачі, ПЗВ). Вибір та розрахунок підвищувальних трансформаторів. Література: [4]. Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 14.</b> Тема: Системи заземлення та блискавкозахисту СЕС. Зміст: Вимоги нормативних документів до систем заземлення та блискавкозахисту. Проектування контуру заземлення. Вибір пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗП/SPD). Література: [4].
15-16	Розділ 3. Проектування технологічної частини СЕС. <b>Лекція 15.</b> Тема: Системи моніторингу та управління (SCADA). Зміст: Призначення та архітектура систем моніторингу. Основні параметри, що контролюються. Протоколи передачі даних. Інтеграція з системами диспетчерського управління. Література: [4]. Розділ 4. Моделювання, економічна оцінка та документація. <b>Лекція 16.</b> Комплексне моделювання продуктивності СЕС у спеціалізованому ПЗ. Зміст: Огляд програмного забезпечення (PVsyst, PV*SOL, Helioscope). Практичні аспекти створення проекту в PVsyst. Аналіз основних видів втрат: температурні, резистивні, оптичні, деградація та ін. Література: [4].

17-18	<p>Розділ 4. Моделювання, економічна оцінка та документація. <b>Лекція 17.</b> Економічний аналіз проєктів СЕС. Зміст: Структура капітальних (CAPEX) та операційних (OPEX) витрат. Розрахунок ключових фінансових показників: усереднена вартість енергії (LCOE), чиста приведена вартість (NPV), внутрішня норма рентабельності (IRR), термін окупності. Література: [1, 4].</p> <p>Розділ 4. Моделювання, економічна оцінка та документація. <b>Лекція 18.</b> Склад та оформлення проєктної документації. Зміст: Стадії проєктування (Проєкт "П", Робоча документація "РД"). Склад проєктної документації згідно ДБН. Правила оформлення креслень та текстових документів. Узагальнення матеріалу, огляд ключових тем курсу.</p>
-------	---

### Практичні заняття

№ з/п	Завдання, які виносяться на практичні заняття
<b>Практичне заняття 1</b>	Аналіз сонячних ресурсів та кліматичних даних. Робота з базами даних (PVGIS, Meteonorm). Визначення оптимального кута нахилу та азимуту для ФЕМ.
<b>Практичне заняття 2</b>	Вступ до ПЗ для моделювання СЕС (Opensolar) Огляд інтерфейсу та основних функцій. Створення першого проєкту, визначення географічних та кліматичних параметрів.
<b>Практичне заняття 3</b>	Вибір та обґрунтування основного обладнання. Аналіз технічних характеристик ФЕМ та інверторів. Розрахунок та узгодження потужності масиву ФЕМ та інвертора.
<b>Практичне заняття 4</b>	Конфігурація поля ФЕМ та розрахунок DC кабелів. Розміщення модулів на конструкціях. Розрахунок кількості модулів у стрінгу. Розрахунок втрат напруги
<b>Практичне заняття 5</b>	Розробка принципової однолінійної схеми (SLD).
<b>Практичне заняття 6</b>	3D-моделювання об'єкта та аналіз ближніх затінь: побудова 3D-сцени (будівлі, дерева, димарі). Розрахунок впливу тіні на виробіток. Використання інструменту "Near Shadings" у PVsyst або SketchUp.
<b>Практичне заняття 7</b>	Комплексне моделювання генерації СЕС
<b>Практичне заняття 8</b>	Розрахунок економічної ефективності проєкту
<b>Практичне заняття 9</b>	Захист індивідуального проєкту.

### Лабораторні заняття

№ з/п	Завдання, які виносяться на практичні заняття
<b>Лабораторне заняття 1</b>	Дослідження вольт-амперної характеристики (ВАХ) сонячного елемента. • Зміст: вплив рівня інсоляції та температури на точку максимальної потужності (MPP). Побудова графіків.
<b>Лабораторне заняття 2</b>	Лабораторна робота №2. Розрахунок та вибір системи кріплень за вітровими та сніговими навантаженнями. • Зміст: робота з ДБН. Розрахунок сили вітру на панель та перевірка надійності кріплення (наприклад, розрахунок баласту для плоского даху).
<b>Лабораторне заняття 3</b>	Лабораторна робота №3. Розрахунок падіння напруги та втрат потужності в DC-кабелях. • Зміст: вибір перерізу кабелю за допустимим нагрівом та втратами напруги (не більше 1-2%).
<b>Лабораторне заняття 4</b>	Лабораторна робота №4. Підбір компонентів захисту для DC-щита (PV-Box). • Зміст: Розрахунок номіналів запобіжників, вимикачів навантаження та підбір обмежувачів перенапруг (ПЗІП) відповідно до напруги стрінга.

<b>Лабораторне заняття 5</b>	Лабораторна робота №5. Розрахунок системи заземлення та блискавкозахисту СЕС. • Зміст: Розрахунок опору розтікання струму. Визначення зон захисту блискавковідводів для дахової СЕС.
<b>Лабораторне заняття 6</b>	Лабораторна робота №6. Розрахунок місткості акумуляторних батарей для гібридних систем. • Зміст: Визначення глибини розряду (DoD), циклічності та необхідної місткості для забезпечення критичного навантаження об'єкта.
<b>Лабораторне заняття 7</b>	Лабораторна робота №7. Порівняльний аналіз технологій ФЕМ: Mono-PERC, TOPCon, Bifacial. • Зміст: Розрахунок очікуваної річної деградації та впливу коефіцієнта двосторонності (Bifacial Gain) на загальну генерацію.
<b>Лабораторне заняття 8</b>	Лабораторна робота №8. Розробка специфікації обладнання та виробів (BOM - Bill of Materials). • Зміст: На основі попередніх розрахунків скласти повну відомість обладнання (від панелей до кабельних наконечників) для реального проекту.
<b>Лабораторне заняття 9</b>	МКР

## 6. Самостійна робота студента

*Самостійна робота студента передбачає:*

*підготовку до аудиторних занять – 36 год;*

*підготовку до модульної контрольної роботи – 2 год;*

*підготовку до заліку – 10 год.*

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

На момент проведення кожного заняття, як лекційного, так і практичного, у студента на пристрої, з якого він працює, має бути встановлено додаток Zoom (у випадку дистанційного навчання), а також відкрито курс «Системний підхід до проектування сонячних електростанцій» на платформі «Сікорський» (код доступу до курсу надається на першому занятті згідно з розкладом). Силабус; лекційний матеріал; завдання до кожного практичного заняття; варіанти модульної контрольної роботи; тести, які потрібно виконати за лекціями; методичні рекомендації до виконання практичних робіт та розрахунково-графічної роботи; варіанти залікової контрольної роботи розміщено на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

Під час проходження курсу «Цифрові та нелінійні системи керування електротехнічними комплексами Системний підхід до проектування сонячних електростанцій и» студенти зобов'язані дотримуватись загальних моральних принципів та правил етичної поведінки, зазначених у Кодексі честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Дедлайни виконання кожного завдання зазначено у курсі «Системний підхід до проектування сонячних електростанцій» на платформі «Сікорський».

Усі без виключення студенти зобов'язані дотримуватись вимог Положення про систему запобігання академічному плагіату в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

За участь у Всеукраїнській олімпіаді (конкурсі наукових робіт) студенту нараховується 5 (I тур) або 10 (II тур) балів. За написання статті та її публікацію студенту нараховується 10 балів (видання, що входить до Scopus або Web of Science) або 6 балів (фахове видання України). За

публікацію тез доповіді на науковій конференції – 3 бали. Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10 балів.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

**Поточний контроль:** завдання в рамках практичного заняття (9 практичних занять × 4 бали = 36 балів), завдання в рамках лабораторного заняття (8 лабораторних занять × 5 бали = 40 балів) МКР (проводиться безпосередньо на лабораторному занятті, у присутності викладача, 24 бали).

МКР виконується у вигляді тесту. По закінченню заняття тест закривається і не підлягає переписуванню або виконанню дома. Тест містить 24 запитань і декілька відповідей до кожного з них, одна з яких вірна. Кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал.

Завдання в рамках практичного заняття оцінюються в 4 бали за такими критеріями:

– «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 4 бали;

– «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 3 балів;

– «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 2,5 бали;

– «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

Завдання в рамках лабораторного заняття оцінюються в 5 бали за такими критеріями:

– «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 5 бали;

– «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 4 балів;

– «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 3 бали;

– «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

Вимоги до написання РГР надаються у вигляді методичних рекомендацій і розміщуються на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

**Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог си́лабусу. Умовою позитивного першого та другого календарного контролів є отримання не менше 50 % максимально можливого на момент відповідного календарного контролю рейтингу.

$$RC(\min) = 5 \cdot 4 + 2 \cdot 5 = 30 \text{ балів}$$

**Семестровий контроль:** залік. Умови допуску до семестрового контролю: виконані і зараховані практичні та МКР.

Студенти, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань. Сума рейтингових балів, отриманих студентом протягом семестру, переводиться до підсумкової оцінки згідно з таблицею. Якщо сума балів менша за 60, але виконані практичні, МКР студент виконує залікову роботу. Студент, який у семестрі отримав більше 60 балів, але бажає підвищити свій результат, може теж взяти участь у заліковій роботі. На заліку студенти виконують письмову контрольну роботу, яка оцінюється в 100 балів.

Кожне теоретичне запитання оцінюється в 33 бали за такими критеріями:

– «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 33-30 балів;

– «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 29-26 балів;

– «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 25 – 20 балів;

– «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

Задача оцінюється в 34 бали за такими критеріями:

– «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 34-30 балів;

– «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 29-25 балів;

- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 24 – 20 балів;
- «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

### 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль, наведено у додатку до силабусу.

Здобувач вищої освіти має можливість пройти онлайн курс(и) за однією або декількома темами, передбаченими робочою програмою навчальної дисципліни. Онлайн курс здобувач може обрати самостійно або за рекомендацією викладача. 1 год прослуханого курсу оцінюється у 0,83 бали. Максимальна кількість годин, яка може бути зарахована за результатами неформальної освіти, становить 12 год, відповідно максимальна кількість балів за такі результати становить – 10 балів.

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

Складено доц., к. т. н., доц. Босак Аллою Василівною

Ухвалено кафедрою автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів. Протокол №15 від 04.06.25 р.

Ухвалено Методичною комісією НН ІЕЕ. Протокол №30 від 25.06.25 р.

**Додаток до syllabusу освітнього компонента  
курсу «Системний підхід до проектування сонячних електростанцій»  
Перелік завдань, що виносяться на семестровий контроль**

1. Назвіть 5 основних фаз життєвого циклу СЕС. Яка з них є найтривалішою?
2. Чим відрізняється поняття іррадіації ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) від інсоляції ( $\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ )?
3. Чому для України оптимальним азимутом є  $0^\circ$  (південь), а кутом нахилу —  $30\text{--}35^\circ$ ?
4. У чому основна перевага панелей N-type (TOPCon) порівняно з P-type (PERC)?
5. Як тип підстильної поверхні (альbedo) впливає на виробіток двосторонніх панелей?
6. Що таке щорічна деградація панелей і як вона враховується при розрахунку окупності?
7. Що означає рейтинг Bloomberg Tier-1 для виробника сонячних панелей?
8. У яких випадках доцільно проектувати автономну (Off-Grid) СЕС замість мережевої?
9. Яка роль гібридного інвертора та блоку АКБ у забезпеченні енергонезалежності?
10. Навіщо в інверторі використовується алгоритм пошуку точки максимальної потужності?
11. Чому потужність сонячного поля (DC) зазвичай на  $20\text{--}40\%$  більша за потужність інвертора (AC)?
12. Поясніть ефект «обрізання» піків генерації (clipping) при високому коефіцієнті перевантаження.
13. Чому при проектуванні СЕС напругу холостого ходу ( $V_{oc}$ ) розраховують саме для температури  $-20^\circ\text{C}$ ?
14. Як тінь від одного димаря може вплинути на виробіток всього стринга панелей?
15. Який максимально допустимий відсоток втрат напруги в DC-кабелях згідно зі стандартами?
16. Чому в DC-ланцюгах не можна використовувати звичайні автомати змінного струму (AC)?
17. Які основні кліматичні навантаження (згідно з ДБН) має врахувати інженер при розрахунку кріплень?
18. Що таке механізм Net Billing і як він працює для сучасного "активного споживача"?
19. Що таке показник LCOE (Levelized Cost of Energy) і навіщо він потрібен інвестору?
20. Які розділи обов'язково мають входити до Специфікації обладнання та матеріалів (BOM)?

**Приклади розрахункових задач**

**Задача 1. Розрахунок безпеки (зимова напруга)**

**Умова:** Інженер проектує стринг із 18 панелей. Напруга холостого ходу панелі ( $V_{oc}$ ) при STC становить 41.5 В. Температурний коефіцієнт напруги  $\beta = -0.3\%/^\circ\text{C}$ . Максимальна вхідна напруга інвертора 1000 В.

**Завдання:** перевірити, чи не згорить інвертор при температурі  $-20^\circ\text{C}$ .

**Розв'язок:**

1. Різниця температур:  $\Delta T = -20 - 25 = -45^\circ\text{C}$ .
2. Зміна напруги модуля:  $\Delta V = 41.5 \times (-0.003) \times (-45) = +5.6\text{В}$ .
3. Напруга модуля взимку:  $41.5 + 5.6 = 47.1\text{В}$ .
4. Напруга стринга:  $47.1 \times 18 = 847.8\text{В}$ .

**Відповідь:**  $847.8\text{В} < 1000\text{В}$ . Система безпечна.

**Задача 2. Енергетичний виробіток (економіка)**

**Умова:** СЕС потужністю 10 кВт у м. Київ має питому генерацію (Specific Yield) 1150 кВт·год/кВт. Вартість електроенергії для підприємства 8 грн/кВт·год.

**Завдання:** Розрахувати річну економію коштів.

**Розв'язок:**

1. Річна генерація:  $10\text{кВт} \times 1150\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{кВт} = 11500\text{кВт} \cdot \text{год}$ .
2. Економія за рік:  $11500 \times 8 = 92000\text{грн}$ .

**Відповідь:** СЕС заощадить власнику 92 000 грн на рік.

**Задача 3. Узгодження DC/AC (архітектура)**

**Умова:** Замовник хоче встановити 80 панелей потужністю 550 Вт кожна. Доступні інвертори потужністю 30 кВт та 40 кВт.

**Завдання:** Обрати інвертор, щоб коефіцієнт перевантаження (Ratio) був у межах 1.2–1.3.

**Розв'язок:**

1. Потужність поля DC:  $80 \times 550 = 44000\text{Вт} = 44\text{кВт}$ .
2. Ratio для 30 кВт інвертора:  $44/30 = 1.46$  (забагато).
3. Ratio для 40 кВт інвертора:  $44/40 = 1.1$ .

**Відповідь:** Оптимально обрати інвертор 40 кВт (хоча він на нижній межі перевантаження, 30 кВт інвертор буде занадто сильно "кліпувати").

#### **Задача 4. Втрати в кабелі (ефективність)**

**Умова:** Струм стринга 13 А. Опір обраного кабелю 0.5 Ом. Напруга стринга 700 В

**Завдання:** Розрахувати відсоток втрат напруги.

**Розв'язок:**

1. Падіння напруги в вольтах:  $\Delta U = I \times R = 13\text{А} \times 0.5\text{Ом} = 6.5\text{В}$ .
2. Відсоток втрат:  $(6.5/700) \times 100\% = 0.93\%$ .

**Відповідь:** Втрати становлять 0.93%, що відповідає нормі (< 1%).