

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Кафедра \_\_\_\_\_ електричних станцій \_\_\_\_\_  
(назва)

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_  
(назва комісії)

\_\_\_\_\_ **Олександр ЛАЗУРЕНКО** \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**«Моделювання та прогнозування генерації та електроспоживання»**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ **другий (магістерський), науковці** \_\_\_\_\_  
перший (бакалаврський) / другий (магістерський)

галузь знань \_\_\_\_\_ **14 «Електрична інженерія»** \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціальність \_\_\_\_\_ **141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»** \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

освітня програма \_\_\_\_\_ **Електроенергетика (141-01 «Електричні станції»,**  
**141-05 «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»)** \_\_\_\_\_  
(назви освітніх програм спеціальностей)

вид дисципліни \_\_\_\_\_ **професійна (профільна), вибіркова,** \_\_\_\_\_  
(загальна підготовка / професійна підготовка; обов'язкова/вибіркова)

форма навчання \_\_\_\_\_ **денна** \_\_\_\_\_  
(денна / заочна/дистанційна)

**Харків – 2021 рік**

## ЛИСТ ЗАТВЕРДЖЕННЯ

Робоча програма з навчальної дисципліни

«Моделювання та прогнозування генерації та електроспоживання»

(назва дисципліни)

Розробники:

проф. каф. електричних станцій, к.т.н., с.н.с.

(посада, науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Костянтин МАХОТІЛО

(ініціали та прізвище)

(посада, науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)(ініціали та прізвище)

Робоча програма розглянута та затверджена на засіданні кафедри

електричних станцій

(назва кафедри)

Протокол від « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри електричних станцій

(назва кафедри)

(підпис)

Олександр ЛАЗУРЕНКО

(ініціали та прізвище)

## ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ

Шифр та назва освітньої програми	ПІБ Гаранта ОП	Підпис, дата
	О. П. Лазуренко	

Голова групи забезпечення  
спеціальності \_\_\_\_\_

(ПІБ, підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.



## МЕТА, КОМПЕТЕНТНОСТІ, РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ ТА СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета.

Формування знань про методи прогнозування електроспоживання в промисловості та побуті а також прогнозування генерації відновлюваних джерел енергії.

Компетентності

Шифр	Зміст
ФК 1	Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи та відповідне програмне забезпечення для вирішення науково-технічних проблем та проводити наукові дослідження в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.
ФК 3	Здатність застосовувати аналітичні методи аналізу, математичне моделювання та виконувати фізичні, математичні і обчислювальні експерименти для розв'язання інженерних завдань та при проведенні наукових досліджень.
ФКс 14	Здатність вибрати методи і провести відповідні розрахунки для аналізу режимів роботи електричних систем і мереж та режимів в елементах схем і процесів в системах та мережах.

Результати навчання:

Шифр	Зміст
ПРН 1	Відтворити процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх моделюванні на персональному комп'ютері.
ПРН 2	Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.
ПРН 6	Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних та електромеханічних системах.
ПРН 7	Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.
ПРНс 25	Володіти сучасними методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів, планування експерименту, проведення обробки його результатів та ефективно використовувати результати при дослідженнях в області електроенергетики.

Знати:

- принципи прогнозування складних процесів;
- фактори, що прямо чи опосередковано впливають на електроспоживання;
- фактори, що прямо чи опосередковано впливають на генерацію ВДЕ;
- типи прогнозуючих моделей;
- методи параметричної ідентифікації моделей електроспоживання.

Вміти:

- ставити завдання на збір даних, необхідних для побудови прогнозуючої моделі споживання та генерації електричної енергії;
- застосовувати програмні засоби для побудови прогнозуючої моделі.

Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни

Попередні дисципліни:	Наступні дисципліни:
Моделювання електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв	
Оптимізаційні задачі енергетики	

## ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

(розподіл навчального часу за семестрами та видами навчальних занять)

Семестр	Загальний обсяг			За видами аудиторних занять (годин)			Індивідуальні завдання студентів (КП, КР, РГ, Р, РЕ)	Поточний контроль	Семестровий контроль	
	Всього (годин) / кредитів ECTS	З них		Лекції	Лабораторні заняття	Практичні заняття, семінари			Контрольні роботи (кількість робіт)	Залік
		Аудиторні заняття (годин)	Самостійна робота (годин)					5		
<b>3</b>	<b>120 / 4</b>	<b>48</b>	<b>72</b>	<b>32</b>		<b>16</b>	<b>Р</b>			<b>+</b>

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до загального обсягу складає 40,0 %:

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№ з/п.	Види навчальних занять (Л, ЛЗ, ПЗ, СР)	Кількість годин	Номер семестру (якщо дисципліна викладається у декількох семестрах). Назви змістових модулів. Найменування тем та питань кожного заняття. Завдання на самостійну роботу.	Рекомендована література (базова, допоміжна)
1	Л 1	4	<b>Змістовий модуль № 1</b> <b>Прогнозування по прецеденту</b>  Тема 1. Задача прогнозування Задачі прогнозування в метеорології, економіці та енергетиці. Математичне прогнозування в плануванні і управлінні енергосистемами. Прогнозування процесів по їх параметрах в даний момент часу і по їх передісторії. Прогнозування корельованих процесів.	1
2	Л 2	4	Тема 2. Прогнозування детермінованих і випадкових процесів. Задачі інтерполяції і екстраполяції. Підбір апроксимуючого многочлена для прогнозування детермінованих процесів. Метод і формула Колмогорова для прогнозування нестационарних випадкових процесів. Метод характеристичних складових	1,2
3	Л 3	4	Тема 3. Фактори, що впливають на споживання та генерацію енергії. Фактори, що впливають на споживання енергії на виробництві та у побуті: сезонні, метеорологічні, соціальні. Зв'язний характер споживання різних видів енергії. Вплив якості опалення на споживання електроенергії. Фактори, що впливають на вироблення енергії сонячними та вітровими електростанціями: сезонні, метеорологічні. Методи отримання метеорологічних даних.	1,5
4	ПЗ 1	2	Аналіз архівних даних про побутове електроспоживання, погодні умови та відпуск тепла в м. Харкові. Виявлення та ранжування факторів впливу.	1
5	Л 4	4	Тема 4. Прецедентний метод прогнозування електроспоживання. Пошук прецедентного дня. Методи корегування прогнозу за вторинними факторами.	1
6	ПЗ 2	2	Підготовка даних до виділення кластерів схожих днів	1
7	ПЗ 3	2	Виділення прецедентних днів. Розрахунок коефіцієнтів корекції прогнозу добового електроспоживання на відпуск тепла.	1-4
8	ПЗ 4	2	Побудова прогнозу для перевірного року. Аналіз точності прогнозування.	1,2
9	СР 1	24	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторних занять. Підготовка до практичних занять	
10	СР 2	12	Прогнозування електроспоживання методом сезонних кривих	1-4
11	Л 5	4	<b>Змістовий модуль № 2</b> <b>Прогнозування за допомогою штучних нейронних мереж</b>	5

			Тема 5. Використання штучних нейромереж для моделювання складних нелінійних процесів. Нейромережі з радіальною базисною функцією. Використання генетичного алгоритму для навчання нейромереж.	
12	Л 6	4	Тема 6. Принципи побудови багатофакторних регресійних прогностичних моделей електроспоживання на базі нейромереж.	1,5
13	ПЗ 5	2	Підготовка даних для навчання нейронної мережі. Створення набору шаблонів. Конфігурування параметрів РБФ-мережі для програми Mendel	1,5
14	ПЗ 6	2	Навчання нейромережевого предиктора добового електроспоживання з врахування календарних, сезонних, та температурних даних	5-8
15	Л 7	4	Тема 7. Методи групового врахування факторів за допомогою еквівалентних показників. Розрахунок еквівалентної зовнішньої температури.	6-8
16	Л 8	4	Тема 8. Регресійні та авторегресійні моделі електроспоживання з розподіленими лаговими змінними.	1,5-8
17	ПЗ 7	2	Навчання нейромережевих предикторів добового електроспоживання з врахування додаткових метеоданих, відпуску тепла та передісторії електроспоживання.	5-8
18	ПЗ 8	2	Навчання нейромережевого предиктора середньогодинного навантаження електроспоживання.	5-8
19	СР 3	24	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторних занять. Підготовка до практичних занять	
20	СР 4	12	Система короткотермінового прогнозування електричного навантаження EPRI ANNSTLF	6-8
Разом (годин)		<b>120</b>		

### САМОСТІЙНА РОБОТА

N з/п	Назва видів самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання лекційного матеріалу	32
2	Підготовка до практичних занять	16
3	Самостійне вивчення тем та питань, які не викладаються на лекційних заняттях	24
	<b>Разом</b>	<b>72</b>

### ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

№ з/п	Назва індивідуального завдання та (або) його розділів	Терміни виконання (на якому тижні)
1	Розрахункова робота «Прогнозування електроспоживання житловим масивом м. Харкова»  Вихідні дані згідно варіанту. Робота сприяє формуванню навичок роботи з реальними даними АСКОВЕ та прогнозування добового електроспоживання. Обсяг розрахункових робіт: 4–6 аркушів пояснювальної записки.	4-9



## МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Курс зорієнтовано на самостійну пізнавальну діяльність слухачів, на їх вміння обробляти архівні дані про електроспоживання, будувати прогностичні моделі за допомогою програмних математичних пакетів, працювати з джерелами наукової та технічної інформації. Використовуються репродуктивні методи навчання з опорою на поетапне формування розумових дій з елементами активних методів навчання.

Основна рекомендація зводиться до забезпечення рівномірної активної роботи студентів над курсом протягом навчального року. Вони повинні проробляти матеріал прослуханих лекцій, готуватися практичних занять, активно використовувати програмні пакети.

Проведення практичних занять передбачає наявність індивідуального завдання. Під час вивчення курсу студентам передбачено виконання наступних видів робіт:

- аналіз теоретичного матеріалу;
- проробка лекційного матеріалу;
- підготовка та послідовне виконання завдань всіх практичних занять;
- підготовка до семестрового контролю.

Самостійна робота студента включає вивчення лекційного матеріалу, підготовку до практичних занять, виконання розрахункового завдання, вивчення додаткового матеріалу. Для підготовки до практичних занять слід повністю виконувати всі попередні завдання з обробки масивів архівних даних, навчання нейромережових моделей, використовувати матеріали лекцій та рекомендовану літературу.

## МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

**Підсумковий контроль** – екзамен.

**Поточний контроль.**

Усі лекції дисципліни завершуються питаннями для повторення, на які слід відповісти. Практичні заняття передбачають виконання індивідуальних розрахункових завдань на персональному комп'ютері. Контроль здійснюється під час опитування на лекціях, проведення практичних занять, захисту індивідуального завдання, поточного контролю змістовних модулів. При оцінці враховується знання теоретичного матеріалу, глибина вивчення рекомендованої літератури, повнота відповідей на контрольні запитання та коректність виконання індивідуального завдання.

**Перелік запитань для підготовки до іспиту:**

ЗМ1

- Задачі прогнозування в метеорології, економіці та енергетиці. Математичне прогнозування в плануванні і управлінні енергосистемами.
- Прогнозування процесів по їх параметрах в даний момент часу і по їх передісторії. Прогнозування корельованих процесів.
- Задачі інтерполяції і екстраполяції. Підбір апроксимуючого многочлена для прогнозування детермінованих процесів.
- Фактори, що впливають на споживання енергії на виробництві та у побуті. Сезонні, метеорологічні, соціальні фактори.
- Зв'язний характер споживання різних видів енергії. Вплив якості опалення на споживання електроенергії.
- Методи корегування прогнозу за вторинними факторами.

ЗМ2

- Прецедентний метод прогнозування електроспоживання. Пошук прецедентного дня.
- Використання штучних нейромереж для моделювання складних нелінійних процесів.
- Принципи побудови багатофакторних регресійних прогностичних моделей електроспоживання на базі нейромереж.

- Методи групового врахування факторів за допомогою еквівалентних показників.
- Регресійні та авторегресійні моделі електроспоживання з розподіленими лаговими змінними.
- Розрахунок еквівалентної зовнішньої температури.

#### Завдання

- Підготувати архівні дані про побутове електроспоживання, погодні умови та відпуск тепла до виділення кластерів схожих днів.
- Виділити прецедентні дні в заданому масиві даних про побутове електроспоживання. Розрахувати коефіцієнти корекції прогнозу добового електроспоживання на відпуск тепла.
- Побудувати прецедентний прогноз для перевірного року за заданим масиві даних про побутове електроспоживання. Проаналізувати точності прогнозування.
- Підготувати набір шаблонів для навчання нейронної мережі за заданим масиві даних про побутове електроспоживання.
- Провести навчання нейромережевого предиктора добового електроспоживання за заданим набор шаблонів. Оцінити вплив розміру прихованого шару на швидкість навчання і точність прогнозування.
- Провести навчання нейромережевого предиктора середньогодинного навантаження за заданим набор шаблонів. Оцінити вплив розміру прихованого шару на швидкість навчання і точність прогнозування.

#### Критерії оцінювання якості знань студентів:

**Відмінно** оцінюють студена, який глибоко та надійно засвоїв програмний матеріал, вичерпне, послідовно, грамотне та логічне злагоджено його виклав, у відповіді пов'язав теорію з практикою, показав знайомство з монографічною літературою, програмним забезпеченням та правильно обґрунтував рішення задачі (кількість отриманих балів 90-100).

**Добре** оцінюють студена, який твердо знає програмний матеріал, грамотне та по суті його викладає, не припускає суттєві неточності у відповіді на запитання, правильно застосовує теоретичні положення при вирішенні практичних питань і задач: В (кількість отриманих балів 82-89), С (кількість отриманих балів 75-81).

**Задовільно** оцінюють студена, який знає тільки основний матеріал, но не засвоїв його деталей, у відповіді припускає неточності, недостатньо правильно формулює основні закони і правила, має ускладнення під час виконання практичних завдань: D (кількість отриманих балів 64-74), E (кількість отриманих балів 60-63).

**Незадовільно** оцінюють студена, який не знає значної частини програмного матеріалу, припускає суттєві помилки, із ускладненнями виконує практичні завдання FX (кількість отриманих балів 35-59), незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни F (кількість отриманих балів 0-34).

#### РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ

Поточне тестування та самостійна робота								Підсумковий тест (залік)	Сума
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2					
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	16	80
8	8	8	8	8	8	8	8		

#### Розрахункове завдання

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
		20	20

#### Шкала оцінювання: національна та ECTS

	Оцінка за національною шкалою
--	-------------------------------

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
82 – 89	<b>B</b>	добре	
75 – 81	<b>C</b>		
64 – 74	<b>D</b>	задовільно	
60 – 63	<b>E</b>		
35 – 59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0 – 34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

#### Базова

1. Вороновский Г. К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / Г. К. Вороновский – Х. : Изд-во «Харьков», 2002
2. Макоклюев Б. И., Костиков В. Н. Моделирование электрических нагрузок электроэнергетических систем. Электричество, 1994, 10: 13-16.
3. Макоклюев Б. И., и др. Влияние метеорологических факторов на электропотребление. Электрические станции, 2002, 1: 26-31.
4. Макоклюев Б. И., Ёч В. Ф. Взаимосвязь точности прогнозирования и неравномерности графиков электропотребления. Электрические станции, 2005, 5: 64-67.
5. Вороновский Г. К., Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности – Харьков: Основа, 1997.
6. Khotanzad A., et al. An adaptive modular artificial neural network hourly load forecaster and its implementation at electric utilities. IEEE Transactions on Power Systems, 1995, 10.3: 1716-1722.
7. Khotanzad A., et al. ANNSTLF-a neural-network-based electric load forecasting system. IEEE Transactions on Neural networks, 1997, 8.4: 835-846.
8. Khotanzad A., Afkhami-Rohani R., Maratukulam D. ANNSTLF-artificial neural network short-term load forecaster-generation three. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, 13.4: 1413-1422.

#### Допоміжна

1. Ивахненко А. Г., Лапа В. Г. Кибернетические предсказывающие устройства – Киев: Наукова думка, 1965
2. Тимчук, Сергій Олександрович. Вдосконалення методів достовірності вихідної інформації на прикладах прогнозних задач в електроенергетиці : монографія / С. О. Тимчук, М. М. Черемісін, В. В. Черкашина. - Харків : Факт, 2020. – 192 с.

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ

1. <http://www.er.gov.ua>
2. [http://rp5.ua/Архив\\_погоды\\_в\\_Харькове\\_\(аэропорт\)](http://rp5.ua/Архив_погоды_в_Харькове_(аэропорт))