



# Теорія та системи автоматичного управління атомних електричних станцій

## Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

### 1. Реквізити навчальної дисципліни

|   |   |
|---|---|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Другий (магістр)</i>   |
| Галузь знань                                | <i>14 Електрична інженерія</i>  |
| Спеціальність                               | <i>143 Атомна енергетика</i>  |
| Освітня програма                            | <i>ОНП Атомні електричні станції</i>  |
| Статус дисципліни                           | <i>нормативна</i>   |
| Форма навчання                              | <i>Очна (денна)</i>   |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>I курс, осінній семестр</i>  |
| Обсяг дисципліни                            | <i>90 годин/3 кредити ECTS, 36 годин лекцій, 18 годин лабораторних робіт, 36 годин СРС</i>  |
| Семестровий контроль / контрольні заходи    | <i>залік/ модульна контрольна робота</i>  |
| Розклад занять                              | <a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a>   |
| Мова викладання                             | <i>українська</i>   |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>Лектор: ст. викл. Меренгер Петро Петрович, p.merenger@kpi.ua<br/>Лабораторні: ст. викл. Меренгер Петро Петрович, p.merenger@kpi.ua</i>                                 |
| Розміщення курсу                            | <i>Посилання на дистанційний ресурс<br/><a href="https://classroom.google.com/c/NjY1MjZzNTcwNDMz=kdpbo64">https://classroom.google.com/c/NjY1MjZzNTcwNDMz=kdpbo64</a></i> |

### 2. Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Теорія та системи автоматичного управління атомних електричних станцій" відноситься до профільюючих дисциплін, які дають основу спеціалізованої підготовки інженерів-енергетиків. Викладання цієї дисципліни здійснюється в комплексі з викладанням спеціальних дисциплін.

Забезпечення економічної та безаварійної експлуатації теплоенергетичних установок багато в чому залежить від якості та повноти автоматизації теплоенергетичних процесів. Комплексна автоматизація є однією із складових ефективної експлуатації АЕС.

Правильне розуміння теорії та системи автоматичного управління атомних електричних станцій дозволить студентам приймати науково-обґрунтовані технологічні та конструкторські рішення для підвищення рівня надійної експлуатації сучасних джерел електроенергії при виконанні магістерських дисертацій

Для повнішого засвоєння теорії та системи автоматичного управління атомних електричних станцій курсом передбачені лекції та лабораторні роботи. Приділяється увага студента до використання програм ПЕОМ для виконання роботи, до обробки результатів експерименту та аналізу отриманих даних. Студент повинен експериментально підтвердити окремі положення з теорії автоматичного управління.

**Метою** навчальної дисципліни є формування у студентів наступних фахових здатностей

(компетентностей):

1. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення складних інженерних завдань в галузі атомної енергетики (ФК 02).
2. Здатність застосовувати отримані спеціалізовані концептуальні знання та навички при проектуванні та експлуатації обладнання та систем (ФК 03)
3. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для моделювання систем та процесів (ФК 04).
4. Здатність демонструвати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів в галузі атомної енергетики, умов їх використання та відповідних обмежень (ФК 08).
5. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання атомно-енергетичного комплексу (ФК 09).
6. Здатність приймати ефективні рішення з проектування і експлуатації систем та обладнання реакторних установок з урахуванням вимог що до якості, екологічності, надійності, конкурентноздатності та охорони праці (ФК 11).

#### **Основні завдання навчальної дисципліни.**

Згідно з вимогами освітньої програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

1. Демонструвати спеціалізовані концептуальні знання з атомної енергетики, набуті у процесі навчання та/або професійної діяльності, у тому числі знання і розуміння новітніх досягнень, які забезпечують здатність до інноваційної та дослідницької діяльності (ПРН 02).
2. Обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для вирішення інженерних та/або наукових завдань в атомній енергетиці (ПРН 11).
3. Застосовувати отримані знання для надійної нормальної експлуатації АЕС та переводу реакторної установки у контрольований безпечний стан в аварійних режимах (ПРН 16).

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

Успішному освоєванню дисципліни в значній мірі буде сприяти та обставина, що цей курс викладається у I семестрі магістратури, коли студенти вже мають базову бакалаврську підготовку вже вивчали такі дисципліни як "Турбіни теплових та атомних електричних станцій", "Теплові та атомні електростанції та установки", «Вищу математику» та інші, які заклали фундамент для вивчення цієї дисципліни. Все це дасть змогу підготувати на високому рівні спеціалістів-теплоенергетиків для атомних електростанцій, які експлуатують теплоенергетичне устаткування.

Результати навчання з даної дисципліни дають уяву про автоматизацію теплоенергетичних процесів на АЕС та задачі, які виконує цех теплотехнічних вимірювань та автоматизації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### Розділ 1 Елементи теорії автоматичного керування

Тема 1.1. Ідентифікація об'єктів та систем автоматичного керування (САК).

Тема 1.2. Аналіз та синтез систем автоматичного керування.

### Розділ 2 Принципи будівництва АСУ ТП АЕС

Тема 2.1. Ієрархічна структура АСУ ТП енергоблоку АЕС.

Тема 2.2. АСУ ТП енергоблоку з ВВЕР. Технічні підсистеми АСК ТП.

Тема 2.3. Програми регулювання потужності енергоблоків АЕС з ВВЕР.

Тема 2.4. Локальні автоматичні системи керування допоміжного обладнання АЕС.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### Базова (підручники, навчальні посібники) література

1. Анастасенко С.М. Бугрім Л.І. Білюк І.С., Гаврилов С.О., Жигуліна В.В. Семенов М.М., Шостак О.В. Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики. Навчальний посібник для студентів

спеціальності 144 "Теплоенергетика". – Миколаїв: НУК. – Львів, «Новий Світ-2000», 2020. – 111 стор. (<https://rep.nuos.edu.ua/server/api/core/bitstreams/212f1c0c-2e94-43ef-a85a-52434576eb21/content> )

2. Автоматизація виробничих процесів І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед / Підручник. Вид. 2-ге, виправлене.– К.: Ліра-К – 2021. – 378 с. (<https://knushop.com.ua/image/catalog/lira20230617/pdf/12170.pdf>)

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література

3. Синеглазов В.М., Сергеев І. Ю. Автоматизація технологічних процесів. – Київ: НАУ, 2015.– 442 с.
4. Проектування технологічних систем та автоматизація технологічних процесів ТЕС. Навчальний посібник до виконання розрахунків у магістерських дисертаціях за освітньо-професійною програмою для здобувачів ступеня магістр за професійною програмою підготовки «Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» П. П. Меренгер, Т. В. Нікуленкова. – Електронні текстові дані (1 файл: 4 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 122 с.
5. Вивчення динаміки перехідних процесів у теплоенергетичному обладнанні ТЕС та АЕС: Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт для студентів, які навчаються за спеціальностями 144 «Теплоенергетика» (освітньо-професійна програма «Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій»), 142 «Енергетичне машинобудування» (освітньо-професійна програма «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем») / Укладачі: П.П. Меренгер, Т.В. Нікуленкова, Л. Майер. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 59 с.
6. Дослідження одноконтурних систем автоматичного регулювання з пропорційними та пропорційно-інтегральними регуляторами. Навчальний посібник до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форм навчання, які навчаються за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» (освітньо-професійна програма «Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій») / Укладачі: П.П. Меренгер, Т.В. Нікуленкова, Л. Майер. – Електронні текстові дані (1 файл: 821,4 кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 37 с.

Інформаційні ресурси:

1. Кампус НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» <http://login.kpi.ua/>
2. Науково – технічна бібліотека НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» <http://library.kpi.ua/>
3. <http://teplota.org.ua>.

## 7. Навчальний контент

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

| Тиждень                           | Зміст навчальної роботи   | СРС (36 годин за навчальним планом) |
|-----------------------------------|---|-------------------------------------|
| 1<br>(01.09-03.09)<br>– I тиждень | <p><b>Лекція 1.</b> Задачі управління енергоблоками АЕС з різними типами ядерних реакторів. Роль автоматизації виробничих процесів в енергетиці. Задачі управління енергоблоками АЕС з різними типами ядерних реакторів. Автоматизацією механізованого виробництва. Схема взаємозв'язків автоматизованих систем керування. Абревіатури.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.</p> <p>Література: 1 – с. 4–14; 3 – с. 9–12</p> |                                     |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   | <b>Лабораторне заняття.</b> Ознайомлення з лабораторією, інструктаж з охорони праці, розподілення на бригади, видача завдання та інші організаційні питання.   |   |
| <b>Розділ 1. Елементи теорії автоматичного керування.</b> |  |   |
| 2<br>(06.09-10.09)<br>– II тиждень                        | <b>Лекція 2. Ідентифікація об'єктів та систем автоматичного управління.</b><br>Функції, виконувані автоматикою. Системи автоматичного управління (САУ). Проблема людина-машина в управлінні обладнанням сучасних атомних електростанцій. Схема автоматичної системи безпеки. Основні поняття з теорії автоматичного керування. Об'єкт, ціль, функціональна ціль, основні задачі ТАУ. Розімкнутими та зімкнутими САУ.<br>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br>Література: 1 – гл.1, розділи 1.1–1.4. | Загальний огляд розвитку систем автоматизації технологічних процесів. <b>(1 година).</b>  |
| 3<br>(13.09-17.09)<br>– I тиждень                         | <b>Лекція 3. Структурна схема АСР і її основні особливості.</b><br>Класифікація АСР. Системи діючих за відхиленням регульованого параметра. Адаптивні САР (система, що самоприспосовується). Принципи аналітичного моделювання.<br>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br>Література: 1 – гл.2, розділи 2.5–2.6; 9 – гл.1.  | Загальний огляд розвитку систем автоматизації технологічних процесів. <b>(1 години).</b>  |
|   | <b>Лабораторна робота 1.</b> Визначення параметрів типових динамічних ланок автоматичних систем регулювання за їхніми перехідними характеристиками   | Оформлення звіту з визначення параметрів типових динамічних ланок автоматичних систем регулювання за їхніми перехідними характеристиками <b>(1,5 години)</b> . Оформлення звіту. Термін виконання – до лабораторного заняття 2. |
| 4<br>(20.09-24.09)<br>– II тиждень                        | <b>Лекція 4. Ідентифікація об'єктів та систем автоматичного управління.</b><br>Типові динамічні ланки. Статичні та динамічні моделі об'єктів і систем управління. Метод перехідних характеристик («крива» розгону). Типові вхідні збурення. Перехідна функція, передаточна функція.<br>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br>Література: 3 – с. 34–47.   | Отримання «кривих» розгону, приклади для різних типів обладнання <b>(1 година).</b>   |
| 5<br>(27.09-01.10)<br>– I тиждень                         | <b>Лекція 5. Способи математичного опису динаміки АСР за допомогою диференціальних рівнянь.</b><br>Математична модель об'єктів в вигляді частотних характеристик (КЧХ, АЧХ, ФЧХ). Експериментальний спосіб визначення КЧХ. Динамічні характеристики ділянок регулювання енергоблоку ВВЕР. Модель реактора з урахуванням температурних ефектів реактивності.  | Отримання «кривих» розгону, приклади для різних типів обладнання <b>(1 година).</b>   |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | <p>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br/>Література: 2 – с. 35–49; 5 – с. 10–40</p>   |  |
|   | <p><b>Лабораторна робота 2.</b> Дослідження характеристик послідовного з'єднання динамічних ланок</p>  | <p>Оформлення звіту дослідження характеристик послідовного з'єднання динамічних ланок <b>(1,5 години)</b>. Оформлення звіту. Термін виконання – до лабораторного заняття 3.</p>            |
| <p>6<br/>(04.10-08.10)<br/>– II тиждень</p> | <p><b>Лекція 6. Способи математичного опису динаміки АСР за допомогою передаточних функцій.</b><br/>Передаточні функції зворотних зв'язків та структурна схема аналізу динаміки реактора ВВЕР. Потужносний коефіцієнт реактивності та аналіз «кривих» розгону реактора з урахуванням цього коефіцієнта.<br/>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br/>Література: 4 – с. 3–25.</p>  | <p>Математичне моделювання теплоенергетичних процесів <b>(1 година)</b>.</p>   |
| <p>7<br/>(11.10-15.10)<br/>– I тиждень</p>  | <p><b>Лекція 7. Подання динамічних властивостей АСР у вигляді частотних характеристик.</b><br/>Переваги частотних методів аналізу. Подання вхідних та вихідних величин системи в Ейлерівській формі. Типи частотних характеристик, приклади графічного відображення. Годограф.<br/>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br/>Література: 5 – с. 6–35.</p>   | <p>Математичне моделювання теплоенергетичних процесів <b>(1 година)</b>.</p>   |
|   | <p><b>Лабораторна робота 3.</b> Дослідження характеристик з'єднання динамічних ланок зі зворотнім зв'язком.</p>  | <p>Оформлення звіту з дослідження характеристик з'єднання динамічних ланок зі зворотнім зв'язком <b>(1,5 години)</b>. Оформлення звіту. Термін виконання – до лабораторного заняття 4.</p> |
| <p>8<br/>(18.10-22.10)<br/>– II тиждень</p> | <p><b>Лекція 8. Алгоритмічна структура об'єктів та систем управління. Типові зв'язки в алгоритмічних системах керування.</b><br/>Особливості елементарних ланок.<br/>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br/>Література: 2 – с. 121–137.</p>  | <p>Якість керування АСР. <b>(1 година)</b>.</p>  |
| <p>9<br/>(25.10-29.10)<br/>– I тиждень</p>  | <p><b>Лекція 9. Стійкість систем автоматичного керування. Типові зв'язки в алгоритмічних структурних схемах САУ.</b><br/>Послідовний зв'язок, паралельний зв'язок та зворотний зв'язок (зустрічно-паралельне з'єднання) ланок. Алгебраїчні критерії сталості. Кореневий метод аналізу САК на сталість. Гармонічні критерії сталості. Запас сталості систем автоматичного керування.<br/>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.</p> | <p>Якість керування АСР. <b>(1 година)</b>.</p>  |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | Література: 3 – с. 73–90.   |   |
|  | <b>Модульна контрольна робота, частина I</b>  |   |
| 10<br>(01.11-05.11)<br>– II тиждень            | <b>Лекція 10. Промислові контролери.</b><br>Алгоритми функціонування промислових контролерів та способи їх реалізації. Типи регуляторів та параметри динамічної настройки. Якісний аналіз роботи АСК. Прямі та непрямі критерії якості регулювання. Інтегральні, гармонічні та статистичні критерії якості регулювання.<br>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br>Література: 3 – с. 137–148.  | Особливість компромісних програм регулювання потужності ВВЕР <b>(1 година)</b>  |
| <b>Розділ 2. Принципи побудови АСУ ТП АЕС.</b> |   |   |
| 11<br>(08.11-12.11)<br>– I тиждень             | <b>Лекція 11. Система автоматичного управління енергоблоком АЕС у складі АСУ ТП.</b><br>Структурна схема ЕБ як багатозв'язаного об'єкта регулювання. Режим роботи блоків при видачі електроенергії у мережу. Принципова блок-схема регулювання потужності ЯЕУ. Перехідні процеси в енергосистемі при стрибкоподібному збільшенні навантаження.<br>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br>Література: 3 – с. 13–33.   | Особливість компромісних програм регулювання потужності ВВЕР <b>(1 година)</b>  |
|  | <b>Лабораторна робота 4.</b> Дослідження характеристик коливальної ланки  | Оформлення звіту з дослідження характеристик коливальної ланки <b>(1,5 години)</b> . Оформлення звіту. Термін виконання – до лабораторного заняття 5. |
| 12<br>(15.11-19.11)<br>– II тиждень            | <b>Лекція 12. Структура АСУ ТП енергоблоку АЕС.</b><br>Основні керовані та керуючі величини енергоблоку.<br>Автоматизована система управління технологічними процесами. Основні поняття: технологічний об'єкт керування, АСУ, ТП, АТК, критерії керування, мета керування.<br>Використання інформаційно-обчислювальних машин в АСУ ТП. Два підходи до будування АСУ ТП енергоблоків. АСУ централізованого контролю та керування і ієрархічна (узагальнена) структура АСУ. Взаємодія апріорної та поточної інформації. Характер перетворення інформації в АСУ ТП.<br>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br>Література: 3 – с. 227–240. | Проблема людина-машина в сучасних АСУ ТП. <b>(1 година)</b>   |
| 13<br>(22.11-26.11)<br>– I тиждень             | <b>Лекція 13. Основні керовані та керуючі величини енергоблоку</b><br>АСУ ТП енергоблоку з ВВЕР. Технічні підсистеми АСК ТП. Функціональна та інформаційно-алгоритмічна структура АСУ ТП енергоблоку «Комплекс ТИТАН-2» Технічні підсистеми АСУ ТП та їх функціональні можливості. Принципи будування інформаційно-керуючих підсистем УВС в складі АСУ ТП енергоблоку. Режим роботи   | Алгоритмічна структура САУ <b>(1 година)</b> .  |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p>УВС. Централізація, децентралізація та часткова централізація у керуванні за допомогою УВС. Розподільчі обчислювальні системи. Програмне забезпечення АСУ ТП «Комплекс – Титан 2». АСУ ТП «ІОС-В.440,1000».</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.</p> <p>Література: 9 – гл.5; 10 – гл.3,4.</p>   |  |
|  | <p><b>Лабораторна робота 5.</b> Дослідження одноконтурної системи автоматичного регулювання з пропорційно-інтегральним регулятором</p>   | <p>Оформлення звіту з дослідження одноконтурної системи автоматичного регулювання з пропорційно-інтегральним регулятором <b>(1,5 години)</b>.<br/>Оформлення звіту. Термін виконання – до лабораторного заняття 5.</p> |
| <p>14<br/>(29.11-03.12)<br/>– II тиждень</p> | <p><b>Лекція 14. Комплекс електронного регулюючого приладу потужності енергоблока з ВВЕР «АРМ-5М».</b></p> <p>Вимоги до регулятора потужності, особистості його структури. Робота АРМ-5М у режимах: теплотехнічного параметра та в режимі безпосереднього регулювання частоти в енергосистемі. Програма та алгоритми регулювання.</p> <p>Література: 10 – с. 88–117.</p> <p>Статичні програми регулювання потужності енергоблоків з ВВЕР. Програма з постійною середньою температурою теплоносія у першому контурі. Програма з постійним тиском теплоносія у другому контурі. Компромісні програми (ФРН, США). Схема регулювання потужності «Ловіза» (Фінляндія).</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.</p> <p>Література: 11 – с. 92–121.</p> | <p>Якість керування АСР. <b>(1 година)</b>.</p>  |
| <p>15<br/>(06.12-10.12)<br/>– I тиждень</p>  | <p><b>Лекція 15. Аварійний захист реактора.</b></p> <p>Вимоги до аварійного захисту. Надійність систем аварійного захисту.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.</p> <p>Література: 9 – с. 198–233.</p>  | <p>Виробники систем автоматичного регулювання, що використовується на вітчизняних АЕС <b>(1,5 години)</b>.</p>   |
|  | <p><b>Модульна контрольна робота, частина II</b></p>   |  |
| <p>16<br/>(13.12-17.12)<br/>– II тиждень</p> | <p><b>Лекція 16. Локальні автоматичні системи керування допоміжного обладнання АЕС.</b></p> <p>Регулювання живлення енергоблоків АЕС. Особливості регулювання рівня у парогенераторах та барабанах-сепараторах. Вимоги до якості регулювання, особливості динаміки. Типова трьох-імпульсна схема АСР живлення.</p> <p>Регулювання тиску та рівня у компенсаторах об'єму. Особливості динаміки. Дискретний характер регулюючих впливів на об'єкт</p>  | <p>Особливості динамічних характеристик реактора ВВЕР-1000. <b>(1,5 години)</b></p>  |

|                                     |   |  |
|-------------------------------------|---|--|
|                                     | регулювання, позиційне регулювання. Статична характеристика регулятора тиску і схема його реалізації. Схема регулювання рівня у компенсаторі об'єму. Регулювання рівня регенеративних підігрівачів. Регулятор тиску пари при аварійних режимах. Регулятор БРУ-К. Призначення, особливості роботи у «спостережному» режимі. Цифровий регулятор розвороту турбогенераторів.<br>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.<br>Література: 3 – 149–184; 10 – с. 88–117. |  |
| 17<br>(20.12-24.12)<br>– I тиждень  | <b>Лекція 17.</b> Заключна лекція. Стисле підведення підсумків курсу.   |  |
|                                     | Заключна заняття в лабораторії. Стисле підведення підсумків курсу.  |  |
| 18<br>(27.12-31.12)<br>– II тиждень | <b>Лекція 18.</b> Залікова контрольна робота.   |  |

## 6. Самостійна робота магістранта

Види самостійної роботи та терміни часу, які на це відводяться, вказані в таблиці в п.5 відповідно до навчальних тижнів та запланованих навчальних занять. Під час вивчення навчальної дисципліни студенти видами самостійної роботи є підготовка до аудиторних занять (лекційних і лабораторних робіт, завдань СРС), підготовку до модульної контрольної роботи і до заліку. Час на їх підготовку подано нижче.

| № з/п | Назва   | Кількість годин СРС |
|-------|---|---------------------|
| 1.    | Лекція 1. Вступ   | 0,5                 |
| 2.    | Лабораторне заняття 1. Ознайомлення з лабораторією, інструктаж з охорони праці, розподілення на бригади, видача завдання та інші організаційні питання. | 1,0                 |
| 3.    | Лекція 2. Ідентифікація об'єктів та систем автоматичного управління.  | 0,5                 |
| 4.    | СРС 1. Загальний огляд розвитку систем автоматизації технологічних процесів.  | 1,0                 |
| 5.    | Лекція 3. Структурна схема АСР і її основні особливості.  | 0,5                 |
| 6.    | Лабораторна робота 1. Визначення параметрів типових динамічних ланок автоматичних систем регулювання за їхніми перехідними характеристиками             | 1,0                 |
| 7.    | Лекція 4. Ідентифікація об'єктів та систем автоматичного управління.  | 0,5                 |
| 8.    | СРС 2. Отримання «кривих» розгону, приклади для різних типів обладнання.  | 1,0                 |
| 9.    | Лекція 5. Способи математичного опису динаміки АСР за допомогою диференціальних рівнянь.  | 0,5                 |
| 10.   | Лабораторна робота 2. Дослідження характеристик послідовного з'єднання динамічних ланок.  | 1,0                 |
| 11.   | Лекція 6. Способи математичного опису динаміки АСР за допомогою передаточних функцій.   | 0,5                 |
| 12.   | СРС 3. Математичне моделювання теплоенергетичних процесів.  | 1,0                 |
| 13.   | Лекція 7. Подання динамічних властивостей АСР у вигляді частотних характеристик.  | 0,5                 |
| 14.   | Лабораторна робота 3. Дослідження характеристик з'єднання динамічних ланок зі зворотнім зв'язком.   | 1,0                 |
| 15.   | Лекція 8. Алгоритмічна структура об'єктів та систем управління. Типові зв'язки в алгоритмічних системах керування.                                      | 0,5                 |
| 16.   | СРС 4. Якість керування АСР.  | 1,0                 |
| 17.   | Лекція 9. Стійкість систем автоматичного керування. Типові зв'язки в алгоритмічних структурних схемах САУ.  | 0,5                 |
| 18.   | Лекція 10. Промислові контролери.   | 0,5                 |
| 19.   | СРС 5. Виробники систем автоматичного регулювання, що використовується на   | 1,0                 |



|     |   |             |
|-----|---|-------------|
|     | вітчизняних АЕС.  |             |
| 20. | Лекція 11. Система автоматичного управління енергоблоком АЕС у складі АСУ ТП.   | 0,5         |
| 21. | Лабораторна робота 4. Дослідження характеристик коливальної ланки.  | 1,0         |
| 22. | Лекція 12. Структура АСУ ТП енергоблоку АЕС.  | 0,5         |
| 23. | СРС 6. Особливості динамічних характеристик реактора ВВЕР-1000.   | 1,0         |
| 24. | Лекція 13. Основні керовані та керуючі величини енергоблоку   | 0,5         |
| 25. | Лабораторна робота 5. Дослідження одноконтурної системи автоматичного регулювання з пропорційно-інтегральним регулятором. | 1,0         |
| 26. | Лекція 14. Комплекс електронного регулюючого приладу потужності енергоблоку з ВВЕР «АРМ-5М».                              | 0,5         |
| 27. | СРС 7. Особливість компромісних програм регулювання потужності ВВЕР.  | 1,0         |
| 28. | Лекція 15. Аварійний захист реактора.   | 0,5         |
| 29. | Лабораторне заняття 6. Перевірка розрахунків ЛР5 (частина 1), відпрацювання ЛР 5 (частина 2)                              | 1,0         |
| 30. | СРС 8. Проблема людина-машина в сучасних АСУ ТП.  | 1,0         |
| 31. | Лекція 16. Локальні автоматичні системи керування допоміжного обладнання АЕС.   | 0,5         |
| 32. | Лабораторне заняття 7. Захист лабораторної роботи №5  | 1,0         |
| 33. | СРС 9. Алгоритмічна структура САУ.  | 1,0         |
| 34. | Лекція 17. Заключна лекція. Стисле підведення підсумків курсу.  | 0,5         |
| 35. | Лабораторне заняття 8. Відпрацювання заборгованостей по лабораторним роботам  | 0,5         |
| 36. | Модульна контрольна робота  | 4,0         |
| 37. | Залік.  | 6,0         |
|     | <b>ВСЬОГО</b>   | <b>36,0</b> |

## 8. Політика та контроль

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

Система вимог до студентів:

- **правила відвідування занять** – відвідувати навчальні заняття та контрольні заходи передбачені графіком освітнього процесу (п. 9.4 <https://kpi.ua/admin-rule>), як при навчанні в аудиторіях, так і при використанні дистанційного режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі онлайн-конференцій і студенти їх «відвідують» під'єднуючись за наданими викладачем посиланням;
- **правила поведінки на заняттях** – не заважати зайвою діяльністю, розмовами ( в тому числі телефоном) іншим студентам слухати лекцію чи працювати під час виконання практичних занять. В аудиторіях/лабораторіях та при дистанційному навчанні вдома дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- **правила захисту звіту з комп'ютерних практикумів** – викладач особисто спілкується зі студентом та задає теоретичні питання за тематикою роботи та отриманими результатами;
- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів** – заохочувальні бали передбачені за академічну активність на лекційних заняттях, штрафні бали нараховуються при виявленні фактів порушення правил доброчесності при складанні контрольних та лабораторних робіт і можуть накладатися у розмірі оцінки передбаченої за конкретну роботу;
- **політика дедлайнів та перескладань**:
  - 1) перескладання заліку здійснюються за графіком, встановленим на рівні університету;
  - 2) модульна контрольна робота пишеться студентом самостійно, користування додатковими матеріалами виключено;
  - 3) захист звітів з лабораторних практикумів відбувається на наступному занятті після вивчення теми даного. Всі проблемні питання з вирішуються на аудиторних практичних заняттях. При значних заборгованостях з оформлення протоколів, їх здачі і захистів робіт, студенти можуть бути недопущені до семестрового контролю і не отримати позитивну оцінку.
- **політика щодо академічної доброчесності** – студенти зобов'язані дотримуватись положень Кодексу честі та вимог академічної доброчесності під час освітнього процесу.

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

### 1. Робота на заняттях

#### Лекційні заняття

Виконання СРС. Ваговий бал — 2. Максимальна кількість балів студента за двадцять завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень):  $r_{1л}=2 \text{ бал} \times 9 = 18 \text{ балів}$ . Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

*Критерії оцінювання:*

**2 бал** — в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **1 бал** — з незначними зауваженнями в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **0 балів** — не вчасно надане завдання. **Штрафні бали:** – несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) — **-1 бал**.

**Опитування.** П'ять відповідей в середньому кожного студента на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб, вісімнадцять лекцій:  $3 \times 18/10 \approx 6$  відповідей).

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента:  $r_{1оп}=1 \text{ бал} \times 6 = 6 \text{ балів}$ .

*Критерії оцінювання:*

**1 бал** — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **0,5 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **0 бали** — неповна відповідь або наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді, або наявність суттєвих помилок в неповній відповіді.

#### Лабораторні заняття

Ваговий бал — 6. Максимальна кількість балів студента за п'ять лабораторних занять:  $r_{1лаб}= 6 \text{ балів} \times (4+2) = 36 \text{ балів}$ . (Лабораторна робота №5 складається з двох частин, відповідно відробляється на двох заняттях).

*Критерії оцінювання:*

**7 балів** — за умови гарного виконання роботи, правильно оформленого протоколу, гарного і своєчасного захисту роботи; за умови невиконання (зниження) показника хоча б з однієї позиції — **(-1) бал**.

#### **Штрафні бали:**

– у разі недопущення до лабораторної роботи у зв'язку з незадовільним вхідним контролем — **(-1) бал**.

### 2. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться одна МКР. Ваговий бал —  $r_{1мкр} = 40 \text{ балів}$ .

*Критерії оцінювання:*

**40...38 балів** — повна вірна відповідь на завдання; **37...34 балів** — відповідь має несуттєві помилки; **33...29 бали** — неповна відповідь; **27...21 балів** — неповна відповідь з несуттєвими недоліками; **20...0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

### 3. Залікова контрольна робота

Залік проводиться у письмовій формі.

Залікова робота складається з двох теоретичних питань (по 10 балів) та двох задач (по 10 балів)

Тобто, максимальна кількість балів за виконану залікову роботу становить **30 балів**. *Критерії оцінювання:*

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

– повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — **10 балів**;

– достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) — **8...9 балів**;

– неповна відповідь, з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) — **4...7 балів**;

– незадовільна відповідь, або її відсутність (менше 60% потрібної інформації та помилки) — менше **3 балів**.

#### **Штрафні бали:**

– додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на **3 бали**.

#### Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни ( $R_D$ ):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_C = r_1 = r_{1л} + r_{1оп} + r_{1лаб} + r_{1мкр} = 18+6+36+40 = 100 \text{ балів.}$$

де  $r_i$  — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг:  $R_C = 100 \text{ балів}$ .

Необхідною умовою допуску до заліку є відпрацювання і захист всіх лабораторних занять, виконання МКР з оцінкою не нижче «задовільно» і стартовий рейтинг не менше 25 балів.

Якщо в продовж семестру студент отримав більше 60 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче). **Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.**

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів або не виконали умов допуску на залік, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Залікова складова  $R_3$  шкали дорівнює:  $R_3 = 40$  балів.

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку (не враховуються бали за виконання завдань МКР) за рейтинговою шкалою з дисципліни складає:

$$R_D = R_C + R_3 = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

| <b>Кількість балів</b>    | <b>Оцінка</b> |
|---------------------------|---------------|
| 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   |

#### **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Студенти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: [https://osvita.kpi.ua/2020\\_7-170](https://osvita.kpi.ua/2020_7-170), [https://document.kpi.ua/files/2020\\_7-170.pdf](https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf)).

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>).

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

*В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom) та дублюються на власному Youtube-каналі викладача, для можливості забезпечення асинхронного навчання студентів.*

*Навчання в умовах правового режиму воєнного стану передбачає:*

*- проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;*

*- перенесення кінцевих термінів виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);*

*- внесення у рейтингову систему оцінювання змін стосовно нарахування штрафних балів - за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.*

*Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):*

*- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;*

*- сертифікатів, які підтверджують участь у науково–практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;*

*- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.*

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (в т.ч. на модульну контрольну роботу)

*Модульна контрольна робота, частина I (I-ше питання до залікової контрольної роботи):*

1. Задачі управління енергоблоками АЕС з різними типами ядерних реакторів.
2. Роль автоматизації виробничих процесів в енергетиці.
3. Задачі управління енергоблоками АЕС з різними типами ядерних реакторів.
4. Автоматизацією механізованого виробництва. Схема взаємозв'язків автоматизованих систем керування.
5. Елементи теорії автоматичного керування. Ідентифікація об'єктів та систем автоматичного управління.
6. Функції, виконувані автоматикою. Системи автоматичного управління (САУ). Проблема людина-машина в управлінні обладнанням сучасних атомних електростанцій.
7. Схема автоматичної системи безпеки.
8. Об'єкт, ціль, функціональна ціль, основні задачі ТАУ.
9. Розімкнутими та зімкнутими САУ.
10. Структурна схема АСР і її основні особливості.
11. Класифікація АСР. Системи діючих за відхиленням регульованого параметра. Адаптивні САР (система, що самоприспосовується). Принципи аналітичного моделювання.
12. Ідентифікація об'єктів та систем автоматичного управління.
13. Типові динамічні ланки. Статичні та динамічні моделі об'єктів і систем управління.
14. Метод перехідних характеристик («крива» розгону). Типові вхідні збурення. Перехідна функція, передаточна функція.
15. Способи математичного опису динаміки АСР за допомогою диференціальних рівнянь.
16. Математична модель об'єктів в вигляді частотних характеристик (КЧХ, АЧХ, ФЧХ).
17. Експериментальний спосіб визначення КЧХ. Динамічні характеристики ділянок регулювання енергоблоку ВВЕР. Модель реактора з урахуванням температурних ефектів реактивності.
18. Способи математичного опису динаміки АСР за допомогою передаточних функцій.
19. Передаточні функції зворотних зв'язків та структурна схема аналізу динаміки реактора ВВЕР. Потужносний коефіцієнт реактивності та аналіз «кривих» розгону реактора з урахуванням цього коефіцієнта.
20. Подання динамічних властивостей АСР у вигляді частотних характеристик.
21. Переваги частотних методів аналізу. Подання вхідних та вихідних величин системи в Ейлерівській формі. Типи частотних характеристик, приклади графічного відображення.

*Модульна контрольна робота, частина II (II-ге питання до залікової контрольної роботи):*

22. Алгоритмічна структура об'єктів та систем управління. Типові зв'язки в алгоритмічних системах керування.
23. Особливості елементарних ланок.
24. Стійкість систем автоматичного керування. Типові зв'язки в алгоритмічних структурних схемах САУ.
25. Послідовний зв'язок, паралельний зв'язок та зворотний зв'язок (зустрічно-паралельне з'єднання) ланок.
26. Алгебраїчні критерії сталості.
27. Кореневий метод аналізу САК на сталість. Гармонічні критерії сталості. Запас сталості систем автоматичного керування.

28. Промислові контролери.
29. Алгоритми функціонування промислових контролерів та способи їх реалізації. Типи регуляторів та параметри динамічної настройки.
30. Якісний аналіз роботи АСК. Прямі та непрямі критерії якості регулювання. Інтегральні, гармонічні та статистичні критерії якості регулювання.
31. Принципи побудови АСУ ТП АЕС.
32. Система автоматичного управління енергоблоком АЕС у складі АСУ ТП.
33. Структурна схема ЕБ як багатозв'язаного об'єкта регулювання. Режими роботи блоків при видачі електроенергії у мережу.
34. Принципова блок-схема регулювання потужності ЯЕУ. Перехідні процеси в енергосистемі при стрибкоподібному збільшенні навантаження.
35. Структура АСУ ТП енергоблоку АЕС.
36. Основні керовані та керуючі величини енергоблоку.
37. Автоматизована система управління технологічними процесами. Основні поняття: технологічний об'єкт керування, АСУ, ТП, АТК, критерії керування, мета керування. Використання інформаційно-обчислювальних машин в АСУ ТП.
38. Два підходи до будівництва АСУ ТП енергоблоків. АСУ централізованого контролю та керування і ієрархічна (узагальнена) структура АСУ.
39. Основні керовані та керуючі величини енергоблоку
40. АСУ ТП енергоблоку з ВВЕР. Технічні підсистеми АСК ТП. Функціональна та інформаційно-алгоритмічна структура АСУ ТП енергоблоку.
41. Комплекс електронного регулюючого приладу потужності енергоблоку з ВВЕР «АРМ-5М».
42. Робота АРМ-5М у режимах: теплотехнічного параметра та в режимі безпосереднього регулювання частоти в енергосистемі. Програма та алгоритми регулювання.
43. Статичні програми регулювання потужності енергоблоків з ВВЕР. Програма з постійною середньою температурою теплоносія у першому контурі. Програма з постійним тиском теплоносія у другому контурі. Компромісні програми (ФРН, США). Схема регулювання потужності «Ловіза» (Фінляндія).
44. Аварійний захист реактора. Надійність систем аварійного захисту.
45. Вимоги до аварійного захисту. Надійність систем аварійного захисту.
46. Локальні автоматичні системи керування допоміжного обладнання АЕС.
47. Регулювання живлення енергоблоків АЕС. Особливості регулювання рівня у парогенераторах та барабанах-сепараторах. Вимоги до якості регулювання, особливості динаміки. Типова трьох-імпульсна схема АСР живлення.
48. Регулювання тиску та рівня у компенсаторах об'єму. Особливості динаміки. Дискретний характер регулюючих впливів на об'єкт регулювання, позиційне регулювання. Статична характеристика регулятора тиску і схема його реалізації.
49. Схема регулювання рівня у компенсаторі об'єму. Регулювання рівня регенеративних підігрівачів.
50. Регулятор тиску пари при аварійних режимах.
51. Регулятор БРУ-К. Призначення, особливості роботи у «спостережному» режимі.

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

*Складено ст.викл. Меренгером П.П.*

*Ухвалено кафедрою теплової та альтернативної енергетики (протокол № 17 від 12.04.2023)*

*Погоджено Методичною радою Навчально наукового інституту атомної та теплової енергетики (протокол № 8 від 08.05.2023)*