



Експлуатація енергетичного обладнання

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія¹</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>Теплові електричні станції та установки</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна та вечірня)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS, 120 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / практичні заняття, МКР</i>
Розклад занять	<i>Згідно rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Бутовський Леонід Сергійович, 096-633-07-21, homet129@gmail.com Практичні к.т.н., доц. Бутовський Леонід Сергійович, 096-633-07-21, homet129@gmail.com
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс : Zoom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Сучасна теплоенергетика базується на використанні потужного паросилового обладнання з широким використанням засобів обчислювальної техніки і автоматичного керування. Наявність агрегатів великої потужності, які працюють на високих параметрах, а також складність теплових схем призводять до збільшення часу пуску агрегатів з різних теплових станів, що входить у протиріччя з необхідністю забезпечення високої маневреності та економічності. Все це вимагає від експлуатаційного персоналу високої кваліфікації, фундаментальних знань фізичних процесів, які відбуваються в окремих вузлах і елементах обладнання, знайомства з теоретичними положеннями, на яких базується сучасне теплоенергетичне обладнання.

Мета та завдання кредитного модуля

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

Загальні компетентності (ЗК)

- ЗК1. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК5. Здатність працювати в команді.
- ЗК6. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- ЗК7. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану.
Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

Фахові компетентності спеціальності (ФК)

ФК2. Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін.

ФК6. Здатність досліджувати та визначити проблему і ідентифікувати обмеження, включаючи ті, що пов'язані з проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в теплоенергетичній галузі.

ФК8. Здатність продемонструвати розуміння ширшого міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів.

ФК9. Здатність демонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в теплоенергетичній галузі.

ФК12. Здатність демонструвати розуміння проблем якості в теплоенергетичній галузі.

ФК13. Здатність продемонструвати знання характеристик і властивостей матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетичній галузі.

ФК15. Здатність розробляти і реалізовувати енергозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання теплових електричних станцій (ТЕС).

ФК22. Здатність на підставі аналізу числових розрахунків розподілу температур, швидкостей і тиску розробляти оптимальні конструкції та експлуатаційні режими теплообмінного обладнання на ТЕС.

ФК24. Здатність використовувати математичні методи и і моделі для пошуку оптимальних технологічних режимів роботи теплоенергетичних та інших об'єктів.

ФК26. Здатність визначати найбільш ефективні теплоносії для функціонування теплоенергетичних об'єктів з урахуванням їх виробництва та розподілу.

ФК27. Здатність до проведення вимірів і спостережень на обладнанні ТЕС, складання опису проведених досліджень, підготовки результатів для складання оглядів, звітів і наукових публікацій.

Основні завдання навчальної дисципліни.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

ЗН1. Знання і розуміння математики, фізики, хімії, газодинаміки, тепло - та масообміну, технічної термодинаміки, міцності, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

ЗН6. Знання і розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження.

ЗН7. Знання і розуміння застосовуваних матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів.

ЗН10. Знання і розуміння режимів роботи обладнання, характеристик теплоносіїв, схем їх руху та відповідних матеріалів, що застосовуються при аналізі процесів і проектуванні теплоенергетичних установок і тепло-масообмінних апаратів ТЕС.

ЗН14. Знання і розуміння математичних методів і моделей для розрахунку енергетичного та матеріального балансів складних технологічних схем, пошуку оптимальних технологічних режимів роботи промислових та інших об'єктів.

УМІННЯ:

УМ1. Уміння розуміти складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності «Теплоенергетика»; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

УМ5. Уміння здійснювати пошук необхідної інформації в технічній літературі, використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації, здійснювати моделювання з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації.

УМ7. Уміння планувати і виконувати експериментальні дослідження за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів), оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.

УМ8. Уміння продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепцій в теплоенергетичній галузі, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.

УМ11. Уміння збирати й інтерпретувати відповідні дані і аналізувати складності в межах спеціалізації спеціальності «Теплоенергетика» для донесення суджень, які відбивають відповідні соціальні та етичні проблеми.

УМ13. Уміння ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень з інженерним співтовариством і суспільством загалом.

УМ17. Уміння класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методики для виконання конструкторських і перевірочних розрахунків теплоенергетичного обладнання

УМ18. Уміння обирати і розраховувати технологічні схеми теплопостачання.

УМ19. Уміння обирати і розраховувати апарати і пристрої для використання бросової теплоти теплотехнологічних та теплоенергетичних установок; використовуючи методики оцінки ефективності і загальної економічності використання різних видів ВЕР.

УМ23. Уміння розробляти і розраховувати схеми об'єктів з теплонасосними системами теплопостачання.

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

Вимоги до початку навчання – знання з курсів турбіни ТЕС та АЕС, котельні установки ТЕС, тепло і масообмінні апарати ТЕС і АЕС, автоматизовані системи управління.

Забезпечується: переддипломна практика, дипломний проект магістра професійної підготовки, дипломний проект магістра наукової підготовки.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи експлуатації енергетичного обладнання

Тема 1.1. Основні положення раціональної експлуатації енергетичного обладнання

Тема 1.2. Робота обладнання на змінних режимах

Розділ 2. Характеристики металів енергетичного обладнання

Тема 2.1. Фізико-хімічні властивості металів

Розділ 3. Вібраційна надійність турбоагрегата

Тема 3.1. Характеристики вібрації елементів турбоагрегата

Розділ 4. Робота турбіни при змінних режимах

Тема 4.1. Робота турбіни в умовах пуску і останову.

Тема 4.2. Експлуатація допоміжного обладнання турбоустановки

Тема 4.3. Експлуатація системи обслуговування турбіни

Тема 4.4. Основи експлуатації котельних агрегатів барабанного та прямоточного типу

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна

1. Паровые и газовые турбины для электростанций. Под ред. А.Г.Костюка, и др. – М.: Изд. дом МЭИ. – 2008. – 556 с.

2. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. - М.: Энергоатомиздат. -1990. – 640 с.

3. Паровые и газовые турбины. Под ред. А.Г. Костюка и В.В.Фролова. – М.: Энергоатомиздат. – 1985. – 352 с.

4. Капелович Б.Е. Эксплуатация паротурбинных установок. М.: Энергоатомиздат. 1985. – 304 с.

5. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. М.: Энергоатомиздат. 1982. – 496 с.

Додаткова

6. Доброхотов В.И., Жгулев Г.В. Эксплуатация энергетических блоков. М.: Энергоатомиздат. 1987. – 256 с.

7. Смоленский А.Н. Конструкция и расчет деталей паровых турбин. – М.: Машинлстроение. – 1964. – 467 с.

8. Резников М.И., Липов Ю.М. Котельные установки электростанций. – М.: Машиностроение. – 1986. – 450 с.

Інформаційні ресурси

1. Сайт МПЕ України – www.mpe.gov.ua.
2. Сайт Бібліотека електронних книг – <http://book-gu.ru/2013/03/turbiny-2/>.
Сайт ВАТ «Турбоатом» - <http://www.turboatom.com/ua/press/news/1637.html>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	2
Розділ 1. Основи експлуатації енергетичного обладнання	
	Тема 1.1. Основні положення раціональної експлуатації енергетичного обладнання
1	Лекція 1. Основні принципи та режими експлуатації енергетичного обладнання Осн. літ-ра: 1 – с. 515 – 516; 2 – с. 455 – 458; 7 – с. 151 – 154.
	Тема 1.2. Робота обладнання на змінних режимах
2	Лекція 2. Робота проточної частини турбіни при зміні режимних параметрів Осн. літ-ра: 1 – с. 175 – 196; 2 – с. 459 – 467; 3 – с. 147 – 168; 4 – с. 71 – 90; 6 – 121 – 144; 239 – 253.
3	Лекція 3. Вплив на економічні показники турбоустановки параметрів пари Осн. літ-ра: 1 – с. 196 – 206; 2 – с. 468 – 482; 3 – с. 168 – 174; 6 – с. 151 – 204; 7 – с. 40 – 44.
Розділ 2. Характеристики металів енергетичного обладнання	
	Тема 2.1. Фізико-хімічні властивості металів
4	Лекція 4. Характеристики металів при одноразових навантаженнях Осн. літ-ра: 3 – с. 280 – 284; 10 – с. 29 – 42; 214 – 242; 5 – с. 197 – 200; 11 – с. 215 – 218.
5	Лекція 5. Фізико-хімічні властивості матеріалів при багатократних навантаженнях при високих температурах Осн. літ-ра: 10 – с. 43 – 45; 3 – с. 303 – 304; 5 – с. 200 – 226; 6 – с. 215 – 238.
Розділ 3. Вібраційна надійність турбоагрегата.	
	Тема 3.1. Характеристики вібрації елементів турбоагрегата
6	Лекція 6. Поняття про вібрацію. Вплив вібрації на характеристики і міцність роторів парової турбіни Осн. літ-ра: 1 – с. 439 – 440; 473 – 508; 2 – с. 484 – 509; 4 – с. 112 – 124; 11 – с. 219 – 222.
7	Лекція 7. Вібраційні характеристики і міцність дисків та лопаток парових турбін Осн. літ-ра: 1 – с. 452 – 472; 2 – с. 531 – 534; 514 – 526;
8	Лекція 8. Міцність елементів статора парових турбін – корпус турбіни, діафрагми, обойми Осн. літ-ра: 1 – с. 509 – 514; 2 – с. 535 – 539; 3 – с. 326 – 329
Розділ 4. Робота турбіни на змінних режимах	
	Тема 4.1. Робота турбіни в умовах пуску і останову.
9	Лекція 9. Обслуговування турбіни при нормальній роботі. Відкладення в турбінах

	Осн. літ-ра: 1 – с. 516 – 519; 2 - с. 552 – 572; 3 – с. 339 – 340; 4 – 70 – 106; 124 – 134; 5 – с. 125 – 137; 6 – с. 308 – 324; 9 – с. 204 – 220.
10	Лекція 10. Пуск турбіни з різних температурних станів Осн. літ-ра: 1 – с. 520 – 540; 2 – с. 573 – 582; 3 – с. 333 – 336; 4 – с. 28 – 37; 48 – 53; 5 с. 8 – 31; 7 – с. 326 – 383; 9 – с. 159 – 185.
11	Лекція 11. Останов парової турбіни на різний час Осн. літ-ра: 1 – с. 546 – 554; 2 – с. 601 – 616; 3 – с. 337 – 338; 4 – с. 61 – 70; 9 – с. 192 – 204; 223 – 229.
	Тема 4.2. Експлуатація допоміжного обладнання турбоустановки
12	Лекція 12. Експлуатація обладнання турбоустановки – регенеративних підігрівачів, деаераторів Осн. літ-ра: 1 – с. 541 – 545; 2 - с. 583 – 600; 3 – с. 339 – 340; 4 – с. 261 – 271; 271 – 282; 5 – с. 162 – 185; 7 – с. 86 – 98; 134 – 142; 163 – 164; 9 – с. 77 – 100; 122 – 129.
13	Лекція 13. Конструкція та експлуатація конденсаційної установки Осн. літ-ра: 2 – с. 190 – 241; 4 – с. 204 – 242; 7 – с. 146 – 151; 9 – с. 49- 76.
14	Лекція 14. Особливості експлуатації турбоустановок АЕС Осн. літ-ра: 1 – с.218 – 241; 2 – с. 190 – 240; 3 - с. 185 – 195; 6 – с. 201 - 215.
	Тема 4.3. Експлуатація системи обслуговування турбіни
15	Лекція 15. Експлуатація маслосистеми турбоустановки та системи підшипників Осн. літ-ра: 1 – с. 266 – 274; 2 – с. 145 – 189; 3 – с. 210 – 213; 4 – с. 164 – 202; 5 – с. 137 – 162; 9 – с. 13 – 48.
16	Лекція 16. Маневренність парової турбіни Осн. літ-ра: 2 – с. 618 – 630; 3 – с. 341 - 345
	Тема 4.4. Основи експлуатації котельних агрегатів барабанного та прямоточного типу
17	Лекція 17. Основи експлуатації котельних агрегатів при змінних режимах. Пусконаладжувальні роботи Осн. літ-ра: 4 – с. 42 – 48; 11 – с. 69 – 107
18	Лекція 18. Вплив зміни умов роботи газоповітряного тракту на характеристики котлоагрегатів Осн. літ-ра: 11 – с. 233 – 253.

Практичні заняття²

1. У швидкохідній турбіні насиченої пари потужністю 750 МВт для АЕС визначити ступінь вологості при зміні схеми турбіни (1.10 [9]).
2. Виконати розрахунок одновинцевого регулюючого ступеня парової турбіни К-500-240 за заданими параметрами (3.18 [9]).
3. Визначити осьові зусилля, які діють на ротор турбіни за заданими параметрами (4.6 [3]).
4. Виконати розрахунок ступеню при зміні витрати пари через турбіну (с. 149 [3]).
5. Як зміняться характеристики привідної турбіни при зміні кількості ступенів (4.12 [9]).
6. Визначити осьове зусилля в проміжному ступеню турбіни для заданих умов роботи (4.20 [9]).
7. Як зміняться характеристики турбіни при зміні конструкції бандажу (5.17 [9]).
8. Розрахувати, як зміняться характеристики турбіни при зміні витрати пари (6.8 [9]).
9. Визначити , як зміняться теплоперепади в циліндрах турбіни К-300-240 при зміні витрати пари (6.19 [9]).

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин
-------	---	-----------------

² За наявності ПЗ

		СРС
1.	Розподілення потужності між агрегатами при зміні навантаження в системі.	3
2.	Вплив змінної витрати пари на основні характеристики відсіку турбіни.	4
3.	Вплив параметрів свіжої пари на розробку подвійного перегріву пари.	4
4.	Вплив температури пари на характеристики міцності металів. Використання легуючих елементів.	4
5.	Вплив терміну експлуатації установки на фізико-хімічні властивості металів	4
6.	Причини виникнення низькочастотної, високочастотної вібрації та вібрації обертової частоти в турбоагрегаті.	3
7.	Засоби зміни власної частоти коливань лопаткового апарата.	4
8.	Використання подвійного корпусу в турбінах високих параметрів пари.	4
9.	Вплив параметрів пари на склад відкладень в проточній частині парової турбіни.	4
10	Особливості операцій персоналу під час пуску з холодного стану	4
11	Особливості аналізу кривої вибігу ротора під час зупинки турбоагрегата.	4
12	Фактори, що впливають на якість деаерації пари в деаeratorі.	4
13	Характеристики повітряної та гідравлічної щільності конденсатора	4
14	Засоби зменшення вологості пари в проточній частині парової турбіни.	4
15	Основи експлуатації елементів масляної системи турбоагрегату – маслобак, насоси, ежектор тощо.	3
16	Фактори, що впливають на швидкість зміни параметрів пари в турбоагрегаті	3
17	Вплив зміни параметрів пари на характеристики окремих елементів котлоагрегату.	3
18	Шляхи підсмоктування повітря в проточну частину котельного агрегату і вплив на експлуатаційні характеристики.	3

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вимоги викладача до студентів:

- Відвідувати лекційні і практичні заняття;
- Виконувати завдання, поставлені на практичних роботах, і вчасно їх здавати;
- Максимальна кількість балів при невчасному складанні модульних контрольних зменшується вдвічі;
- Максимальна кількість балів при невчасній здачі результатів розрахунків за практичними роботами зменшується вдвічі.

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

Рейтинг студента з навчальної дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) модульну контрольну роботу;
- 2) виконання та захист 8 завдань на практичних заняттях;
- 3) екзаменаційне завдання.

Система рейтингових балів

Система оцінки успішності за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочою навчальною програмою:

	кількість	бали	сума балів
Практичні заняття	8	відповіді на занятті 10	80
МКР	1	20	20
Сума вагових балів контрольних заходів			100

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. МКР: Модульна контрольна робота. (20 балів)

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 14-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 7-13 балів;

2. Практичне заняття (з розрахунку 4х питань всього 10 балів):

- «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 9-10 балів;
- «добре», глибоке розкриття питань – 7-8 балів;
- «задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 6 балів.

Заохочувальні і штрафні бали:

бали

1. Несвоєчасне виконання завдання СРС	-1...-5
2. Ведення конспекту лекцій	1...5
Сума заохочувальних і штрафних балів R_s	10

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 26 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 12 балів. За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 31 бал. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 15.

Максимальна сума балів стартової складової складає 60. Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист практичних занять та стартовий рейтинг не менше 30 балів. Якщо студенти набрали протягом семестру кількість балів більше 60 балів, вони мають можливість отримати іспит „автомат” відповідно до набраного рейтингу. Якщо студенти набрали протягом семестру кількість балів менш ніж 60 балів, студенти виконують екзаменаційну контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання (10 балів) і одну задачу. (20 балів).

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 18-20 (9-10) балів;
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 14-17 (7-8) балів;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 13 (6) балів;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 12 (5) балів.

Сума стартових балів і балів за залікову роботу переводиться до оцінки згідно з таблицею

$R_D = R_C + R_E$	Оцінка ECTS	Традиційна оцінка
$95 \leq R_D \leq 100$	A - відмінно	відмінно
$85 \leq R_D \leq 94$	B – дуже добре	добре
$75 \leq R_D \leq 84$	C - добре	
$65 \leq R_D \leq 74$	D - задовільно	задовільно
$60 \leq R_D \leq 64$	E - достатньо	
$R_D \leq 59$	F _X - незадовільно	незадовільно
Не зараховано завдання на СРС, або є не зараховані лабораторні роботи, або $R_C \leq 30$	F – незадовільно (потрібна додаткова робота)	не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Можливе зарахування сертифікатів за окремими темами при виступі на науково-технічній конференції кафедри чи факультету, написання реферату або участь у науковій роботі кафедри.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доц. Бутовським Л.С.

Ухвалено кафедрою ТЕУТ та АЕС (протокол № 19 від 18.06.2021)

Погоджено Методичною радою факультету (протокол № 11__ від 24.06.2021 р.)