



Турбіни АЕС

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>перший (бакалавр)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>142 «Енергетичне машинобудування»</i>
Освітня програма	<i>«Тепло- і парогенеруючі установки»</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкові компоненти ОП</i>
Форма навчання	<i>денна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,0 кредитів ECTS, 120 годин (лекції 36 годин, практичні заняття 36 годин, СРС 48)</i>
Семестровий контроль / контрольні заходи	<i>Практичні заняття, РГР, МКР, екзамен</i>
Розклад занять	<i>Згідно rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>ст.викл. Меренгер Петро Петрович</i> , <i>моб.тел.: 063-4406418</i> , <i>e-mail: p.merenger@kpi.ua</i> Практичні / Семінарські: <i>ст. викл. Меренгер Петро Петрович</i> Лабораторні: <i>не заплановано</i>
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Google classroom) <i>e-mail, Viber</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Класифікація парових турбін за призначенням. Умовні позначення турбін. Цикли турбоустановок та показники їхньої економічності. Теплова схема паротурбінного циклу. Шляхи підвищення економічності циклу турбоустановок – вплив початкових та кінцевих параметрів пари, проміжний перегрів.

Техніко-економічні показники сучасних паротурбінних установок теплових та атомних електростанцій.

Перетворення енергії у турбінному ступеню. Основні рівняння робочого процесу у турбінному ступеню.

Робочий процес ступенів вологої пари. Процес розширення вологої пари.

Робочий процес у багатоступінчатій турбіні. Порядок розрахунку багатоступінчатої турбіни.

Конструкція органів паророзподіл.

Конструкція основного та допоміжного обладнання.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей.

ЗДАТНІСТЬ:

ФК1 Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепцій розвитку галузі енергетичного машинобудування.

ФК2 Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії.

ФК3 Здатність аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності.

ФК4 Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і

вузлів енергетичного і технологічного обладнання.

ФК5 Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання.

ФК6 Здатність вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації основних теплотехнологічних процесів при створенні нового обладнання в галузі енергомашинобудування і застосовувати прогресивні методи експлуатації теплотехнологічного обладнання для об'єктів енергетики, промисловості і транспорту, комунально-побутового та аграрного секторів економіки.

ФК7 Здатність брати участь у роботах з розробки і впровадження теплотехнологічних процесів у ході підготовки виробництва нової продукції, перевіряти якість монтажу й налагодження при випробуваннях і здачі в експлуатацію нових енергетичних об'єктів та систем.

ФК8 Здатність визначати режими експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів.

ФК10 Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи методи дослідницької діяльності.

ФК11 Здатність продемонструвати обізнаність з питань інтелектуальної власності та контрактів в галузі енергетичного машинобудування

ФК12 Здатність продемонструвати обізнаність з питань інтелектуальної власності та контрактів в галузі енергетичного машинобудування

ФК14 Здатність визначати техніко-економічну доцільність проведення досліджень в галузі енергетичного машинобудування і визначати перспективу впровадження результатів наукової діяльності.

ФК16 Здатність визначати техніко-економічну доцільність проведення досліджень в галузі енергетичного машинобудування і визначати перспективу впровадження результатів наукової діяльності.

ФК17 Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання.

ФК 18 Здатність розробляти енергозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації енергетичного і технологічного обладнання.

ФК19 Здатність виконувати роботи з розрахунку й проектування об'єктів і систем у області енергомашинобудування відповідно до технічних завдань з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем.

ФК20 Здатність застосовувати методи стандартних випробувань щодо визначення фізико-механічних, технічних і екологічних показників для об'єктів енергетики і промисловості.

ФК21 Здатність здійснювати заходи щодо профілактики виробничого травматизму й професійних захворювань, контролювати дотримання екологічної безпеки проведених робіт, застосовувати сучасні методи, що забезпечують безпеку життєдіяльності людей та їх захист від можливих наслідків аварій, катастроф і стихійних лих.

Основні завдання навчальної дисципліни.

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

ЗНАННЯ:

ЗН1 Знання і розуміння математики, фізики, тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

ЗН2 Знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.

ЗН7 Знання і розуміння методів наукового дослідження, принципів застосування метрологічних засобів вимірювання, стандартів, нормативно-технічної документації для постановки і проведення наукових досліджень в галузі енергетичного машинобудування

УМІННЯ:

УМ1 Уміння обирати і застосовувати типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи, розуміти складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання, правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

УМ2 Уміння виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень.

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.

УМ6 Уміння застосовувати кодекси практики і правила техніки безпеки в галузі. Уміння застосовувати кодекси практики і правила техніки безпеки в галузі.

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

УМ9 Уміння застосовувати методики

УМ10 Уміння вирішувати практичні завдання, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень.

УМ11 Уміння обирати та застосовувати сучасні матеріали, обладнання та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміти їх обмеження при проектуванні теплоенергетичного обладнання.

УМ12 Уміння застосовувати норми інженерної практики при виконанні інженерної діяльності.

УМ15 Уміння ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень з інженерним співтовариством і суспільством загалом.

УМ16 Уміння ефективно працювати в національному та міжнародному контексті, як особистість і як член команди, і ефективно співпрацювати з інженерами та не інженерами.

УМ17 Уміння розпізнавати необхідність і самостійно навчатися протягом життя.

УМ18 Уміння відстежувати розвиток науки і техніки. Уміння відстежувати розвиток науки і техніки.

УМ20 Уміння вибирати сучасні методи і застосовувати засоби, прилади та вимірювальну техніку для здійснення експериментальних досліджень галузі енергетичного машинобудування.

УМ21 Уміння застосовувати профілактичні заходи та запобіжні засоби щодо безпечної експлуатації тепло- і парогенеруючих установок та при проведенні наукових досліджень.

УМ22 Уміння під час позаштатних та надзвичайних ситуацій діяти відповідно інструкцій та нормативних документів.

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

Забезпечується:

ПО10 Автоматичне регулювання котельних установок.

Забезпечує:

ВП2 Навчальні дисципліни з теплообмінних апаратів в енергетиці.

Теплообмінні апарати та теплоносії.

Парогенератори та теплообмінники АЕС.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1

Предмет та зміст курсу

Тема 1.1. Історія розвитку та стан енергетики України

Предмет та зміст курсу. Національний стандарт. ДСТУ EN 60045-1:2022: загальні технічні характеристики для парових турбін (ідентичний до EN 60045-1:1993 та ІЕС 60045-1:1991). ДСТУ EN 45510-5-1:2015: Настанова щодо поставок обладнання для електростанцій, яка містить вимоги до парових турбін. ДСТУ ISO 7919-2:2014: Встановлює критерії оцінювання механічної вібрації парових турбін та генераторів. Установки паротурбінні стаціонарні для атомних електростанцій. Графіки споживання електричної енергії. Ступінь завантаження та використання електричної потужності. Основні технічні та економічні вимоги до електростанцій. Класифікація турбін. Короткий огляд розвитку турбінобудування. Основні шляхи розвитку турбінобудування. Класифікація парових турбін. Сучасний стан турбінного будування в світі.

Розділ 2

Термодинамічні цикли турбоустановки та їх показники

Тема 2.1. Основи циклів паротурбінних установок

Основні закони переходу теплової енергії в роботу. Параметри стану. Питома теплосмність. Поняття ентропії. Тепловий цикл і його термічний ККД. Другий закон термодинаміки. Цикл Карно. Теплові цикли паротурбінних установок. Цикл Ренкіна. Показники ефективності парової турбіни. Порівняння ККД ідеальних циклів Карно і Ренкіна. Вплив параметрів пари на ККД циклу парової турбіни.

Тема 2.2. Теплові схеми сучасних паротурбінних установок.

Регенеративний підігрів живильної води. Переваги використання регенерації. Принципова регенеративна схема сучасної паротурбінної турбоустановки. Засоби підвищення ККД циклу паротурбінної установки. Надбудова турбіною з підвищеними параметрами. Використання парогазової установки. Визначальні параметри для вибору циклу паротурбінної установки ТЕС та АЕС. Особливості теплових схем енергоблоків АЕС. Проміжна сепарація і проміжний перегрів пари. Особливості регенеративного підігріву живильної води на АЕС. Особливості волого-парових турбін АЕС.

Розділ 3

Ступінь турбіни

Тема 3.1. Перетворення енергії пари у ступеню турбіни

Основні рівняння та характеристики потоків в каналах. Принцип дії і характеристики турбінного ступеня. Процес розширення пари в конфуз орному соплі. Ізоентропійний процес розширення. Течія в соплі з втратами. Робота при за критичних параметрах течії пари. Сопло Лавалю. Додаток. Течія пари в конфуз орному соплі при зміні тиску на виході з сопла.

Тема 3.2. Характеристики турбінних решіток

Принцип роботи турбінного ступеня. Загальмовані параметри. Зусилля, які діють на робочу лопатку. Геометричні і режимні характеристики решіток. Реактивність в турбінному ступеню. Переваги використання реактивності і особливості. Побудова трикутників швидкостей. Знаходження оптимального значення величини u/c_1 . Формула розрахунку теплоперепаду на ступінь. Турбіни. Потужність і робота ступеня турбіни. Відносний лопатковий ККД ступеня.

Реальна течія робочого тіла в турбінних решітках з втратами. Втрати енергії по окремим елементам. Втрати на робочих решітках. Відносний внутрішній ККД ступеня. Втрати від тертя диску і пари. Втрати від парціального підведення робочого тіла. Втрати від витоків у ступеню. Вплив вологості пари на ККД ступеня. Течія вологої пари в турбінних решітках. Характеристики двофазового середовища. Утворення вологи в елементах турбіни. Визначення основних розмірів

ступеня. Ступінь швидкості (регулюючий ступінь, диск Кертиса). Особливості роботи ступеня швидкості. Розрахунок ступеня швидкості

Розділ 4.

Багатоступінчата турбіна

Тема 4.1. Робочий процес у багатоступінчатій турбіні

Гранична потужність одно поточної конденсаційної парової турбіни. Чому в турбіні багато циліндрів. Шляхи збільшення потужності одно поточної турбіни. Особливості використання багатоступеневої турбіни. Робочий процес у багатоступеневій паровій турбіні. Особливості роботи багатоступеневих турбін. Загальні висновки щодо характеристик багатоступеневих турбін. Розрахунок проточної частини турбіни. Ступені з довгими лопатками. Основні принципи конструювання ступенів з довгими лопатками. Розрахунок ступеня з урахуванням зміни параметрів потоку вздовж радіуса. Основні рівняння і закони закрутки решітки. Ерозія елементів парових турбін АЕС. Сепарація вологи в турбіні. Периферійна сепарація. Внутрішньоканальна сепарація. Зовнішня сепарація.

Розділ 5

Конструкція основного та допоміжного обладнання

Тема 5.1. Конденсаційні установки і допоміжне обладнання паротурбінних установок

Конденсатор парової турбіни. Принцип роботи конденсатора пари. Схема конденсатора. Конструкція конденсатора. Пароструменевий ежектор. Основні несправності в конденсаційній установці. Поверхневі підігрівачі низького тиску. Змішуючі підігрівачі низького тиску. Регенеративні підігрівачі високого тиску. Деаераційна установка. Зовнішня сепарація пари. Сепаратор-пароперегрівач.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література

1. Лут М.Т., Мірошнік О.В. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК / Харків: Факт, 2008. – 431 с.
2. Оцінка залишкового ресурсу та подовження експлуатації парових турбін великої потужності (частина 3). Монографія для науковців та докторів філософії / О.Ю. Черноусенко, Д.В. Риндюк, В.А. Пешко // Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. – 297 с.
3. Введення в технічну діагностику машин: навч. посіб. / В.М. Нагорний. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 483 с.
4. Розрахунки теплових схем паротурбінних установок. Методичні вказівки до виконання курсової та самостійної роботи для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика», 6.050604 «Енергомашинобудування», 6.050603 «Атомна енергетика» програм професійного спрямування «Теплові електричні станції». «Котли та реактори», «Атомна енергетика», «Теплофізика» для студентів теплоенергетичних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Уклад: О.Ю. Черноусенко, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська // Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – 48с.
5. Тепловий розрахунок одноступеневої парової турбіни. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи з дисциплін «Парові та газові турбіни», «Теплова частина електростанцій», «Турбіни ТЕС та АЕС» для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика», 6.050604 «Енергомашинобудування», 6.050603 «Атомна енергетика» програм професійного спрямування «Теплові електричні станції», «Котли та реактори», «Атомна енергетика», «Теплофізика» для студентів теплоенергетичних спеціальностей денної та заочної форм навчання. / Уклад: О.Ю. Черноусенко, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська, О.С. Мороз // Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – 60 с.

Додаткова література

6. Контроль металу і подовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій: СОУ-Н МПЕ 40.17.401: 2004. – Офіц. Вид. – К: ГРІФРЕ: Міністерство палива і енергетики України, 2005. – 76 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Типова інструкція).
7. Конструкція основних елементів парових турбін ТЕС та АЕС. Частина 1, Статор: Метод. вказівки до викон. лабор. робіт для студентів теплоенергетичних спеціальностей денної та заочної форм навчання / Уклад: О.Ю. Черноусенко, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська / К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, 2010 – 66 с.
8. Конструкція основних елементів парових турбін ТЕС та АЕС. Частина 2, Ротор: Метод. вказівки до викон. лабор. робіт для студентів теплоенергетичних спеціальностей денної та заочної форм навчання / Уклад: О.Ю. Черноусенко, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська / К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, 2010 – 66 с.
9. Heinz P. Bloch, Murari Sighn. Steam Turbines. Design, Application and Re-Rating. McGraw Hill Professional, 2008. – 352 p.

Інформаційні ресурси

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

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	2
Розділ 1 Предмет та зміст курсу	
Тема 1.1. Історія розвитку та стан енергетики України	
1	Лекція 1. Предмет та зміст курсу. ГОСТ 24277-91. Національний стандарт. Установки паротурбінні стаціонарні для атомних електростанцій. Графіки споживання електричної енергії. Ступінь завантаження та використання електричної потужності. Основні технічні та економічні вимоги до електростанцій. Осн. літ-ра: 1 - с.4-5; 2 - с.8-9; 3 - с.5-12. Дод. літ-ра: 3 - с.7-17.
2	Лекція 2. Класифікація турбін. Короткий огляд розвитку турбіно будування. Основні шляхи розвитку турбіно будування. Класифікація парових турбін. Сучасний стан турбіно будування в світі. Осн. літ-ра: 1 - с.4-5; 2 - с.8-9; 3 - с.5-12. Дод. літ-ра: 3 - с.7-17.
Розділ 2 Термодинамічні цикли турбоустановки та їх показники	
Тема 2.1. Основи циклу паротурбінних установок	
3	Лекція 3. Основні закони переходу теплової енергії в роботу. Параметри стану. Питома теплоємність. Поняття ентропії. Тепловий цикл і його термічний ККД. Другий закон термодинаміки. Цикл Карно. Осн. літ-ра: 1 - с.9-20; 2 - с.9-32; 3 - с.9-13, 25-30. Дод. літ-ра: 3 - с.17-20, 33-36.
4	Лекція 4. Теплові цикли паротурбінних установок. Цикл Ренкіна. Показники ефективності парової турбіни. Порівняння ККД ідеальних циклів Карно і Ренкіна. Вплив параметрів пари на ККД циклу парової турбіни. Осн. літ-ра: 1 - с.20-25; 2 - с.20-32; 3 - с.25-30. Дод. літ-ра: 3 - с.20-25.
Тема 2.2. Теплові схеми сучасних паротурбінних установок.	
5	Лекція 5. Регенеративний підігрів живильної води. Переваги використання регенерації. Принципова регенеративна схема сучасної паротурбінної турбоустановки. Засоби підвищення ККД циклу паротурбінної установки. Надбудова турбіною з підвищеними параметрами. Використання парогазової установки. Визначальні параметри для вибору

	циклу паротурбінної установки ТЕС та АЕС. Осн. літ-ра: 1 - с.9-25; 2 - с.20-32. Дод. літ-ра: 2 - с.5-64.
6	Лекція 6. Особливості теплових схем енергоблоків АЕС. Проміжна сепарація і проміжний перегрів пари. Особливості регенеративного підігріву живильної води на АЕС. Особливості волого-парових турбін АЕС. Осн. літ-ра: 1 - с.9-25; 2 - с.20-32. Дод. літ-ра: 2 - с.5-64.
Розділ 3 Ступінь турбіни	
Тема 3.1. Перетворення енергії пари у ступеню турбіни	
7	Лекція 7. Основні рівняння та характеристики потоків в каналах. Принцип дії і характеристики турбінного ступеня. Процес розширення пари в конфуз орному соплі. Ізоентропійний процес розширення. Течія в соплі з втратами. Робота при за критичних параметрах течії пари. Сопло Лаваля. Додаток. Течія пари в конфуз орному соплі при зміні тиску на виході з сопла. Осн. літ-ра: 1 - с.30-34; 2 - с.32-53,64-69; 3 - с.31-41,56-59. Дод. літ-ра: 3 - с.37-47,51-56.
Тема 3.2. Характеристики турбінних решіток	
8	Лекція 8. Принцип роботи турбінного ступеня. Загальмовані параметри. Зусилля, які діють на робочу лопатку. Геометричні і режимні характеристики решіток. Осн. літ-ра: 1 - с.53-57; 2 - с.43-49; 3 - с.41-46; 4 - с.56-64. Дод. літ-ра: 3 - с.59-65.
9	Лекція 9. Реактивність в турбінному ступеню. Переваги використання реактивності і особливості. Осн. літ-ра: 1 - с.53-57; 2 - с.43-49; 3 - с.41-46; 4 - с.56-64. Дод. літ-ра: 3 - с.59-65.
10	Лекція 10. Побудова трикутників швидкостей. Знаходження оптимального значення величини u/c_1 . Формула розрахунку теплоперепаду на ступінь. Турбіни. Потужність і робота ступеня турбіни. Відносний лопатковий ККД ступеня. Осн. літ-ра: 1 - с.43-52,62-66; 2 - с.54-64,69-76,94-100; 3 - с.48-49; 4 - с.25-36,70-72,75-78. Дод. літ-ра: 2 - с. 130-141; 3 - с. 68-77,82-93.
11	Лекція 11. Реальна течія робочого тіла в турбінних решітках з втратами. Втрати енергії по окремим елементам. Втрати на робочих решітках. Осн. літ-ра: 1 - с.43-52,62-66; 2 - с.54-64,69-76,94-100; 3 - с.48-49; 4 - с.25-36,70-72,75-78. Дод. літ-ра: 2 - с.130-141; 3 - с.68-77,82-93.
12	Лекція 12. Відносний внутрішній ККД ступеня. Втрати від тертя диску і пари. Втрати від парціального підведення робочого тіла. Втрати від витоків у ступеню. Вплив вологості пари на ККД ступеня. Течія вологої пари в турбінних решітках. Характеристики двофазового середовища. Утворення вологи в елементах турбіни. Визначення основних розмірів ступеня. Осн. літ-ра: 1 - с.57-62; 2 - с.76-85. Дод. літ-ра: 3 - с. 99-103,111-115.
13	Лекція 13. Ступінь швидкості (регулюючий ступінь, диск Кертиса). Особливості роботи ступеня швидкості. Розрахунок ступеня швидкості. Осн. літ-ра: 2 - с.49-53, 72-73; 3 - с.46-48; 4 - с.64-67, 78, 82-89. Дод. літ-ра: 2 - с.65-86; 3 - с. 37-47, 51-56, 103-111.
Розділ 4. Багатоступінчата турбіна	
Тема 4.1. Робочий процес у багатоступінчатій турбіні	
14	Лекція 14. Гранична потужність одно поточної конденсаційної парової турбіни. Чому в турбіні багато циліндрів. Шляхи збільшення потужності одно поточної турбіни. Осн. літ-ра: 1 - с.79-81; 2 - с.105-112; 119-125; 3 - с.51-57. 4 - с.90-100. Дод. літ-ра: 3 - с.123-134, 154-164.
15	Лекція 15. Особливості використання багатоступеневої турбіни. Робочий процес у багатоступеневій паровій турбіні. Особливості роботи багатоступеневих турбін. Загальні висновки щодо характеристик багатоступеневих турбін. Розрахунок проточної частини турбіни. Осн. літ-ра: 1 - с.79-81; 2 - с.105-112; 119-125; 3 - с.51-57. 4 - с.90-100. Дод. літ-ра: 3 - с.123-134, 154-164.
16	Лекція 16. Ступені з довгими лопатками. Основні принципи конструювання ступенів з довгими лопатками. Розрахунок ступеня з урахуванням зміни параметрів потоку вздовж

	радіуса. Основні рівняння і закони закрутки решітки. Осн. літ-ра: 1 - с.79-81; 2 - с.105-112; 119-125; 3 - с.51-57. 4 - с.90-100. Дод. літ-ра: 3 - с.123-134, 154-164.
17	Лекція 17. Ерозія елементів парових турбін АЕС. Сепарація вологи в турбіні. Периферійна сепарація. Внутрішньоканальна сепарація. Зовнішня сепарація. Осн. літ-ра: 1 - с.79-81; 2 - с.105-112; 119-125; 3 - с.51-57. 4 - с.90-100. Дод. літ-ра: 3 - с.123-134, 154-164.
	Розділ 5. Конструкція допоміжного обладнання
	Тема 5.1. Конденсаційні установки і допоміжне обладнання паротурбінних установок
18	Лекція 18. Конденсатор парової турбіни. Принцип роботи конденсатора пари. Схема конденсатора. Конструкція конденсатора. Пароструменевий ежектор. Основні несправності в конденсаційній установці. Поверхневі підігрівачі низького тиску. Змішуючі підігрівачі низького тиску. Регенеративні підігрівачі високого тиску. Деаераційна установка. Зовнішня сепарація пари. Сепаратор-пароперегрівач. Осн. літ-ра: 3 – с.158–185; 2 – с. 185–192, 203–205. 3 – с. 233–242; 4 – с. 161–165; 5 – с. 214–236. Дод. літ-ра: 4 – с. 4–36.

5. Практичні заняття

Основним завданням практичних занять є набуття студентами практичних навичок розрахунку процесів розширення робочого тіла у турбіні

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 2 Термодинамічні цикли турбоустановки та їх показники	
Тема 2.1. Основи циклу паротурбінних установок.	
1	Розрахунки впливу зміни параметрів на характеристики циклу паротурбінної установки.
Розділ 3 Ступінь турбіни	
Тема 3.1. Перетворення енергії пари у ступеню турбіни	
2, 3	Розрахунки ККД ступеню турбіни.
Тема 3.2. Характеристики турбінних решіток	
4, 5	Розрахунки трикутників швидкості турбінного ступеня.
6	Контрольна робота 1, б.
Розділ 4 Багатоступінчата турбіна	
Тема 4.1. Робочий процес у багатоступінчатій турбіні	
7, 8	Розрахунки втрат енергії пари при дросельному та сопловому паророзподілах.
Тема 4.2. Розрахунок багатоступінчатої турбіни	
9, 10	Розрахунки першого та останнього ступенів турбіни.
11, 12	Визначення кількості ступенів в турбіні.
Розділ 6. Конструкція основного та допоміжного обладнання	
Тема 6.1. Конструкції турбоустановок	
13	Конструкції робочих та соплових лопаток парової турбіни.
14	Конструкції корпусів парової турбіни.
15	Конструкції роторів парових турбін.
16	Конструкції органів паророзподілу парових турбін.
17	Контрольна робота 1, б.
Тема 6.2. Конструкція допоміжного обладнання	
18	Конструкції допоміжного обладнання турбоустановок

6. Самостійна робота

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилення на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	Перспективи розвитку енергетики.	1
2	Удосконалення теплових схем турбоустановок.	1
3	Регулювання параметрі промперегріву.	1
4	Розробка циклу паротурбінних установок на супернадкритичні параметри.	1
5	Перспективи розвитку турбоустановок АЕС з двократною сепарацією пари.	1
6	Вплив параметрів пари на економічність ступеню.	1
7	Вплив зміни ступеню реактивності на економічні показники.	1
8	Закони профілювання довгих лопаток.	1
9	Вплив геометричних параметрів ступеню на внутрішній відносний к.к.д. ступеню.	1
10	Типорозміри ступенів швидкості у сучасних турбінах.	1
11	Сучасні методи боротьби з вологістю пари в ступенях турбіни.	1
12	Модернізація конструкцій кінцевих ущільнень.	1
13	Методи розрахунку проточної частини багатоступеневої турбіни.	1
14	Переваги та перспективи використання саблеподібних соплових лопаток.	0,5
15	Методи підвищення ефективності циклу газотурбінних установок.	1
16	Сучасні ефективні схеми парогазових установок.	1
17	Конструкція підшипників сучасних парових турбін.	0,5
18	Методи удосконалення конструкції конденсаторів парових турбін.	1
19	Підвищення ефективності конденсаційної установки турбіни шляхом використання теплообмінних трубок нового профілю.	1

Індивідуальні завдання

Основні цілі індивідуального завдання розрахунково-графічна робота _____

Основною метою РГР (15 год.) є набуття студентами навичок практичного досвіду в розрахунку паротурбінної установки, визначення розмірів проточної частини турбіни та зведення теплового балансу турбіни.

1. Розрахунки теплових схем паротурбінних установок.
2. Тепловий розрахунок одноступеневої парової турбіни.

Контрольні роботи

Основні цілі контрольних робіт

- перевірка якості засвоєння поточного навчального матеріалу з лекцій дисципліни та самостійної роботи студентів по рекомендованій літературі;
- виявлення студентів з недостатнім рівнем засвоєння навчального матеріалу, з'ясування причин їх відставання та надання їм необхідної допомоги для підвищення успішності.

Контрольна робота:

1. Визначення коефіцієнту корисної дії циклу установки на зазначені параметри пари. 2. Розрахунки відносного внутрішнього коефіцієнта корисної дії ступеню парової турбіни, розрахунки трикутників, втрат на тертя та вентиляцію – 2 год.

Основне місце контрольних робіт: Аудиторне приміщення

8. Політика та контроль компонента)

Вимоги викладача до студентів:

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за:

- 1) Практичні заняття.
- 2) Робота на лекціях.
- 3) РГР.
- 4) Модульна контрольна робота.

Максимальна сума балів стартової складової складає 60.

1. Практичні заняття:

За умови гарної підготовки і активної роботи на практичному занятті – 1 бал. Одному або двом кращим студентам на кожному практичному занятті може додаватися як заохочувальний 1 бал.

2. Робота на лекціях: За умови активної роботи на лекціях та ведення конспекту лекцій – 10 бал.

3. Розрахункова робота:

«відмінно» – 30–28 балів – виконано всі вимоги до роботи;

«добре» – 27–25 балів – виконано майже всі вимоги до роботи, але є не суттєві помилки;

«задовільно» – 24–20 балів – є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки;

«незадовільно» – 0 балів – робота не виконана.

4. Модульна контрольна робота:

«відмінно» – 20–18 балів – виконано всі вимоги до роботи;

«добре» – 17–15 балів – виконано майже всі вимоги до роботи, але є не суттєві помилки;

«задовільно» – 14–10 балів – є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки;

«незадовільно» – 0 балів – робота не виконана.

Заохочувальні бали:

	бали
3. Відповідь на заняттях	
а) повністю правильно надана відповідь	3
б) частково правильно надана відповідь оцінюється;	1–2
в) неправильно надана відповідь оцінюється	0

Рейтинг R_D студента складається з рейтингу, одержаного протягом семестру з урахуванням заохочувальних і штрафних балів R_C , і рейтингу його заліку

$$R_D = R_C + R_E$$
$$R_D = 100 \text{ балів}$$

Виходячи з розміру шкали $R_E = 40$ балів, складаються критерії залікового оцінювання

40–31 – завдання виконано правильно, ретельно оформлено, на запитання подані правильні відповіді, можливі незначні пропуски, які виправлені після додаткових запитань викладача;

30–21 – завдання виконано з помилками, які студент виправив після зауваження викладача, задовільно оформлено, на більшість запитань подані правильні відповіді;

20–10 – завдання виконано з грубими помилками, або не повністю, але виконано додаткове завдання менш складне за той же тематики;

9–1 – завдання виконано з грубими помилками, або не повністю, та не виконано додаткове завдання менш складне за той же тематики;

0 – завдання не виконано.

Для отримання студентом відповідних оцінок його рейтингова оцінка R_D переводиться згідно з таблицею

$R_D = R_C + R_E$	Оцінка		
$95 \leq R_D \leq 100$	відмінно		
$85 \leq R_D \leq 94$	дуже добре		
$75 \leq R_D \leq 84$	добре		
$65 \leq R_D \leq 74$	задовільно		
$60 \leq R_D \leq 64$	достатньо		
$35 \leq R_D \leq 60$	незадовільно		
Менш ніж 28	не допущено		

ДОДАТКИ

Додаток 1. Завдання на РГР

Варіант	Ne, кВт	Po, МПа	T ₀ , °C	P ₂ , МПа	n, хв ⁻¹
1	320	3,2	320	1,4	5000
2	320	2,8	320	1,2	5000
3	320	2,6	320	1,0	5000
4	320	2,4	320	0,8	5000
5	300	3,2	300	0,6	6000
6	300	2,8	300	1,4	6000
7	300	2,6	300	1,2	6000
8	300	2,4	300	1,0	6000
9	280	3,2	280	0,8	4000
10	280	2,8	280	0,6	4000
11	280	2,6	280	1,4	4000
12	280	2,4	280	1,2	4000
13	400	3,2	400	1,0	4500
14	400	2,8	400	0,8	4500
15	400	2,6	400	0,6	4500
16	400	2,4	400	1,4	4500

Додаток 2. Завдання на контрольну роботу

Розрахувати процес розширення пари в ступеню турбіни. Побудувати його в h-s координатах. Визначити втрати в ступеню і відносний лопатковий ККД. Побудувати трикутник швидкостей.

- $H_0 = 50$ кДж/кг; $\rho = 0,15$; $c_0 = 70$ м/с; $d = 0,9$ м; $\varphi = 0,95$; $\psi = 0,86$;
 $\alpha_1 = 11^\circ$; $\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ$; $n = 3000$ хв⁻¹.
- $H_0 = 75$ кДж/кг; $\rho = 0,35$; $c_0 = 90$ м/с; $d = 1,0$ м; $\varphi = 0,94$; $\psi = 0,85$;
 $\alpha_1 = 20^\circ$; $\beta_2 = \beta_1 - 5^\circ$; $n = 3000$ хв⁻¹.
- $H_0 = 45$ кДж/кг; $\rho = 0$; $c_0 = 25$ м/с; $d = 0,8$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,87$;
 $\alpha_1 = 11^\circ$; $\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ$; $n = 3000$ хв⁻¹.
- $H_0 = 60$ кДж/кг; $\rho = 0,2$; $c_0 = 80$ м/с; $d = 0,85$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,86$;
 $\alpha_1 = 14^\circ$; $\beta_2 = \beta_1 - 6^\circ$; $n = 3000$ хв⁻¹.
- $H_0 = 110$ кДж/кг; $\rho = 0,45$; $c_0 = 120$ м/с; $d = 1,0$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,87$;
 $\alpha_1 = 25^\circ$; $\beta_2 = \beta_1 - 7^\circ$; $n = 3000$ хв⁻¹.
- $H_0 = 65$ кДж/кг; $\rho = 0,25$; $c_0 = 80$ м/с; $d = 0,9$ м; $\varphi = 0,94$; $\psi = 0,84$;
 $\alpha_1 = 14^\circ$; $\beta_2 = \beta_1 - 6^\circ$; $n = 3000$ хв⁻¹.
- $H_0 = 120$ кДж/кг; $\rho = 0,45$; $c_0 = 100$ м/с; $d = 1,2$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,87$;
 $\alpha_1 = 11^\circ$; $\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ$; $n = 3000$ хв⁻¹.

8. $H_0 = 75$ кДж/кг; $\rho = 0,3$; $c_0 = 80$ м/с; $d = 0,9$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,85$;
 $\alpha_1 = 19^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 6^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.
9. $H_0 = 85$ кДж/кг; $\rho = 0,55$; $c_0 = 100$ м/с; $d = 1,2$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,86$;
 $\alpha_1 = 25^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 7^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.
10. $H_0 = 70$ кДж/кг; $\rho = 0,4$; $c_0 = 50$ м/с; $d = 1,2$ м; $\varphi = 0,95$; $\psi = 0,87$;
 $\alpha_1 = 25^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 6^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.
11. $H_0 = 40$ кДж/кг; $\rho = 0,1$; $c_0 = 30$ м/с; $d = 0,8$ м; $\varphi = 0,95$; $\psi = 0,82$;
 $\alpha_1 = 12^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 3^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.
12. $H_0 = 80$ кДж/кг; $\rho = 0,4$; $c_0 = 90$ м/с; $d = 1,0$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,86$;
 $\alpha_1 = 14^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 6^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.
13. $H_0 = 40$ кДж/кг; $\rho = 0$; $c_0 = 60$ м/с; $d = 0,9$ м; $\varphi = 0,95$; $\psi = 0,86$;
 $\alpha_1 = 12^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 3^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.
14. $H_0 = 70$ кДж/кг; $\rho = 0,3$; $c_0 = 90$ м/с; $d = 1,0$ м; $\varphi = 0,94$; $\psi = 0,85$;
 $\alpha_1 = 20^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 5^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.
15. $H_0 = 45$ кДж/кг; $\rho = 0,1$; $c_0 = 35$ м/с; $d = 0,85$ м; $\varphi = 0,96$; $\psi = 0,87$;
 $\alpha_1 = 12^0$; $\beta_2 = \beta_1 - 3^0$; $n = 3000$ хв⁻¹.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено ст.викл. Меренгером П.П.

Ухвалено кафедрою Теплової та альтернативної енергетики (протокол № 18 від 11.06.2026 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 26.06.2026 р.)