



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



Теорія та цифрові моделі парових турбін

Шифр та назва спеціальності

142 – Енергетичне машинобудування

Інститут

ННІ Енергетики, електроніки та електромеханіки

Освітня програма

Енергетика

Кафедра

Турбінобудування (122)

Рівень освіти

Бакалавр

Тип дисципліни

Спеціальна (фахова),

Семестр

5

Мова викладання

Українська

Викладачі, розробники



Усатий Олександр Павлович

oleksandr.usatyi@khp.edu.ua

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки, завідувач кафедри турбінобудування.

Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2019 рік) – за створення роторів парових турбін великої потужності. Автор 3-х монографій, автор та співавтор понад 100 наукових та методичних публікацій.

Провідний лектор з дисциплін: «Теорія та цифрові моделі парових турбін», «Теплові розрахунки в турбомашинах», «Змінні режими роботи парових турбін», «Основи теорії оптимального проектування турбін», «Цифрові технології оптимального проектування турбомашин (TOP, AxSTREAM)», «Оптимальне проектування в турбінобудуванні»

Детальніше про викладача на сайті кафедри

Загальна інформація

Анотація

Дисципліна спрямована на оволодіння базовими знаннями з теорії парових турбін, навичками використання методів програмування для створення цифрових моделей та сучасними підходами до проектування і дослідження проточних частин парових турбін з застосуванням цифрових моделей. Вивчаються термодинамічні цикли паротурбінних установок, основні рівняння одновимірної та осесиметричної теорії, що описують газодинамічні процеси в турбінних решітках і ступенях та методи їх рішення. Значне місце займає вироблення практичних навичок з проектування ступенів турбін різного типу (ступенів тиску активних і реактивних, ступенів швидкості). Вивчаються принципи функціонування та конструктивні особливості парових турбін, термінологія та основні поняття в галузі турбінобудування, фізичні процеси, що протікають в проточній частині ступенів турбіни, причини виникнення втрат енергії, а також методи їх розрахунку.

Мета та цілі дисципліни

Надання студентам базових знань з теорії парових турбін, практичних навичок використання програмування для створення цифрових моделей та сучасних підходів до проектування і дослідження проточних частин парових турбін з використанням цифрових моделей, а також надання знань про термодинамічні цикли паротурбінних установок, основні рівняння одновимірної та осесиметричної теорії, що описують газодинамічні процеси в турбінних решітках і ступенях та методи їх рішення, принципи функціонування та конструктивні особливості парових турбін, термінологію та основні поняття в галузі турбінобудування, фізичні процеси, що протікають в проточній частині ступенів турбіни, причини виникнення втрат енергії, а також методи їх розрахунку..

Формат занять

Лекції, практичні заняття, лабораторні роботи, консультації. Підсумковий контроль - іспит.

Компетентності

ЗК 3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 4. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 15. Здатність забезпечувати якість виконуваних робіт.

ФК 1. Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування.

ФК 2. Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії.

ФКП 2. Здатність виконувати теплові розрахунки проточних частин парових, газових турбін та компресорів, розрахунки схем газотурбінних установок на номінальному та змінних режимах роботи з застосуванням цифрових технологій і навичок програмування, проектувати теплові схеми теплових і атомних електростанції із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення, знати конструкційні особливості і принципи проектування теплоенергетичного обладнання.

Результати навчання

ПР 1. 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.

ПР 2. Знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.

ПР 18. Ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень з інженерним співтовариством і суспільством загалом.

ПР 19. Ефективно працювати в національному та міжнародному контексті, як особистість і як член команди, і ефективно співпрацювати з інженерами та не інженерами.

ПР 20. Розуміння необхідності самостійного навчання протягом життя.

ПР 21. Аналізувати розвиток науки і техніки.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 150 год. (5 кредитів ECTS лекцій – 32 годин, лабораторні роботи – 16 годин, практичні заняття – 16 годин, самостійна робота – 86 годин.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Вивчення цієї дисципліни безпосередньо спирається на наступні курси: «Загальна фізика», «Вища математика», «Інформатика», «Технічна термодинаміка», «Газова динаміка».

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Основними видами навчальних занять є лекції, практичні заняття, лабораторні роботи та самостійна робота студентів.

Під час проведення практичних занять значна частина часу відводиться самостійному створенню цифрових моделей та виконанню теплових і аеродинамічних розрахунків ступенів парових турбін.

Індивідуальне завдання видається кожному студенту, виконується самостійно в по за аудиторний час, а також в часи самостійної роботи під керівництвом викладача.

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Тема 1. Типи парових турбін. Цикли паротурбінних установок. Термічний ККД ідеальної установки, відносний та абсолютний внутрішній ККД та їх цифрові моделі.

Тема 2. Вплив початкових та кінцевих параметрів циклу на ККД установки, регенерація, комбінована виробка тепла та електроенергії.

Тема 3. Основні рівняння течії стислої рідини та їх цифрові моделі. Рівняння стану. Рівняння витрат, рівняння кількості руху, енергії.

Тема 4. Критичне відношення тиску, критична швидкість, критична витрата. Сопла, форма каналу сопла, визначення швидкості витоку з сопел, визначення площі сопел. Втрати при течії в соплах та їх цифрові моделі.

Тема 5. Решітки профілів. Геометричні та аеродинамічні характеристики решіток. Експериментальне визначення аеродинамічних характеристик решіток.

Тема 7. Профільні втрати в решітках та їх цифрові моделі. Залежність профільних втрат від геометричних та режимних характеристик решіток.

Тема 8. Кінцеві втрати в решітках та їх цифрові моделі. Залежність кінцевих втрат в решітках від геометричних та режимних характеристик решіток.

Тема 9. Надзвукова течія в решітках. Течія пари в косому зрізі решіток. Формула Бера та її цифрова модель.

Тема 10. Ступень турбіни. Геометричні характеристики ступенів. Соплові решітки ступенів турбіни. Визначення швидкості виходу пари із соплової решітки. Робочі решітки ступенів турбіни. Визначення швидкості виходу пари із робочої решітки

Тема 11. Поняття реактивності ступеня. Сила, момент та потужність на робочих лопатках ступеня та їх цифрові моделі.

Тема 12. Приклад теплового розрахунку та цифрова модель ступеня турбіни.

Тема 13. Відносний лопатковий ККД ступеня активного типу та його цифрові моделі. Вплив на ККД ступеня активного типу коефіцієнтів швидкості та кута потоку α_1 . Відносний лопатковий ККД ступеня з реактивністю $\rho = 0,5$. Оптимальне відношення швидкостей (U/C_f) для ступенів з будь-якою реактивністю у випадку течії нестислої рідини. Відносний лопатковий ККД ступеня з будь-якою реактивністю. Відношення швидкостей (U/C_f) для ступеня з будь-якою реактивністю в разі течії стислої рідини.

Тема 14. Ступені швидкості. Відносний лопатковий ККД та його цифрова модель, Оптимальне відношення (U/Cф). Тепловий розрахунок ступеня та визначення розмірів. Деякі переваги та недоліки реактивного ступеня. Використання реактивності в ступені турбіни.

Тема 15. Внутрішній відносний ККД. Втрати тертя та їх вплив на оптимальне відношення (U/Cф). Втрати від парціальності та їх вплив на оптимальне відношення (U/Cф). Втрати з витоками між нерухомими та рухомими деталями турбін. Лабіринтове ущільнення. Конструкції лабіринтових ущільнень. Розрахунок витоку з лабіринтового ущільнення Кінцеві ущільнення.

Тема 16. Витрати, пов'язані з течією вологої пари в ступені.
Заходи по зменшенню впливу вологи на ККД та лопатковий апарат ступеня.
Втрати від парціальності та їх вплив на оптимальне відношення (U/Cф).

Теми практичних занять

Тема 1. Цифрові моделі циклів паротурбінних установок.

Тема 2. Цифрова модель визначення абсолютного електричного ККД турбоустановки.

Тема 3. Решітки профілів.

Тема 4. Цифрові моделі аеродинамічних характеристики профілів.

Тема 5. Цифрові моделі визначення коефіцієнта витрати соплових решіток, площі мінімального й вихідного перетинів решіток сопел, що розширюються, витрати пари.

Тема 6. Цифрова модель розрахунку ступеня турбіни.

Тема 7. Цифрова модель розрахунку ступеня на середньому радіусі.

Тема 8. Цифрова модель розрахунку ступеня на середньому радіусі.

Визначення втрат енергії в H-S діаграмі.

Тема 9. Цифрова модель розрахунку ступеня швидкості на середньому радіусі.

Тема 10. Цифрові моделі розрахунку і проектування ступеня з урахуванням зміни параметрів потоку по радіусу.

Тема 11. Цифрові моделі розрахунку і проектування ступеня з урахуванням зміни параметрів потоку по радіусу.

Тема 12. Цифрові моделі внутрішнього відносного ККД ступеня та складових втрат енергії в ступені.

Модульна контрольна 1

Теми лабораторних робіт

Тема 1. Визначення профільних втрат в решітках.

Тема 2. Визначення профільних втрат в решітках.

Тема 3. Визначення профільних втрат в решітках.

Модульна контрольна робота № 1.

Тема 4. Визначення кінцевих втрат в решітках.

Тема 5. Визначення кінцевих втрат в решітках.

Тема 6. Визначення кінцевих втрат в решітках.

Тема 7. Визначення кінцевих втрат в решітках.

Тема 8. Визначення ККД в залежності від U/Cф.

Тема 9. Визначення ККД в залежності від U/Cф.

Тема 10. Визначення ККД в залежності від U/Cф.

Тема 11. Дослідження структури потоку в міжвінцевому зазорі й за робочим колесом.

Тема 12. Дослідження структури потоку в міжвінцевому зазорі й за робочим колесом.

Самостійна робота

1. Опрацювання лекційного матеріалу.

2. Підготовка до практичних занять.

2. Підготовка до контрольних робіт.

3. Самостійне вивчення тем та питань, які не викладаються на лекційних заняттях:

3.1. Вплив форми каналу на ефективність турбінних решіток.

- 3.2. Вплив числа Маха на відхилення потоку робочого тіла в косому зрізі турбінної решітки.
- 3.3. Відмінності конструкцій активних і реактивних ступенів турбіни. Основні причини відмінностей.
- 3.4. Вивчення впливу основних геометричних характеристик ступеня турбіни на його ККД.
- 3.5. Заходи щодо усунення шкідливого впливу відриву потоку робочого тіла в прикореневій зоні робочої лопатки останнього ступеня.

4. Виконання індивідуального завдання (Розрахункова робота):

«Створення цифрової моделі теплового розрахунку ступеня парової турбіни на середньому діаметрі»

Розрахункова робота виконується з метою придбання студентами практичних навичок створення та використання цифрових моделей одномірного теплового розрахунку ступеня турбіни на середньому діаметрі. В процесі розрахункової роботи буде розроблена цифрова модель одномірного теплового розрахунку ступеня турбіни на середньому діаметрі та з її використанням будуть знайдені значення основних геометричних (конструктивних), кінематичних і термо- та газодинамічних параметрів ступеня турбіни..

5. Інші види самостійної роботи.

Література та навчальні матеріали

1. Гнітько С. М., Бучинський М. Я., Попов С. В., Чернявський Ю. А. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2020. 258 с.
2. Steam Turbines by Hubert E. Collins, 2009, 186 pp. <https://www.gutenberg.org/ebooks/27687>
3. Черноусенко О.Ю. Конструкція та призначення основних елементів парових турбін ТЕС та АЕС: Частина 2, Ротор Навчальний посібник для студентів теплоенергетичного факультету. / О.Ю.Черноусенко, Л.С.Бутовський, О.О.Грановська, Т.В.Никуленкова // - Електронне навчальне видання Гриф НМУ № Е 12/13-042 від 18.10.2012 р., протокол №2, 2012 – 85 с.
4. Черноусенко О.Ю. Конструкція та призначення основних елементів парових турбін ТЕС та АЕС: Частина 1, Статор Навчальний посібник для студентів теплоенергетичного факультету/ О.Ю.Черноусенко, Л.С.Бутовський, О.О.Грановська, Р.І Гудов // - Електронне навчальне видання Гриф НМУ № Е 10/11-081 від 02.12.2010 р., протокол №3, 2010 – 150 с.
5. Проектування стаціонарних парових турбін : навч. посіб. : у 2 ч.. Ч. 2. Розрахунок багатоциліндрових турбін / В. М. Патлайчук; Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. - Миколаїв, 2020. - 158 с. - (Серія "Навчальні посібники"). - Бібліогр.: с. 156-157 - укр.
6. Косяк Ю.Ф. Паротурбінні установки атомних електростанцій. / Ю.Ф. Косяк, 1978р., 312с.
7. <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2020/10/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0-15.pdf>
8. Гребнев В.К., Зайцев М.В. Тепловий розрахунок відсіку проточної частини парової турбіни. Навчальний посібник, Харків, ХПІ, 1982.
9. Optimization of the Axial Turbines Flow Paths A Boiko, Y Govorushchenko, A Usaty, 2016, 286 pp. Science Publishing Group, New York, NY 10018, U.S.A.; ISBN:978-1-940366-67-8: URL: <http://www.sciencepublishinggroup.com/book/B-978-1-940366-67-8>
10. Багатокритеріальна багатопараметрична оптимізація проточної частини осьових турбін з урахуванням режимів експлуатації : монографія / А. В. Бойко, О. П. Усатий, А. С. Руденко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – 220 с.

Інтернет-ресурси:

1. <http://library.kpi.kharkov.ua/>
2. http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/41229/1/prohramy_2019_Optimalnoe_proektirovanie.pdf
3. Сайт МПЕ України - www.mpe.kmu.gov.ua
4. Сайт Бібліотека електронних книг -<http://book-gu.ru/2013/03/turbiny-2/>
5. Сайт ВАТ «Турбоатом» <http://www.turboatom.com.ua/press/news/1637.html>
6. Сайт НАЕК «Енергоатом» - <http://www.energoatom.kiev.ua/>
7. Сайт НАЕК «Енергетична компанія України» - <http://www.ecu.gov.ua/>

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Розподіл балів для оцінювання успішності студента у %:

Контрольні роботи	50
Розрахункова робота	30
Відвідування занять	20
Загалом	100

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХП»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХП» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

Погодження

Силабус погоджено

20.08.2023

Завідувач кафедри
Олександр УСАТИЙ

20.08.2023

Гарант ОП
Оксана ЛИТВИНЕНКО