



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



Теплові розрахунки в турбомашинах

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), дисципліна вільного вибору

Семестр

4, 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 теоретичними основами та сучасними підходами до проектування ступенів парових турбін. Вивчаються термодинамічні цикли паротурбінних установок, основні рівняння одновимірної теорії що описують газодинамічні процеси в турбінних решітках і ступенях, та методи їх рішення. Значне місце займає вироблення практичних навичок з проектування турбінних ступенів різного типу (ступенів тиску активних і реактивних, ступенів швидкості). Вивчаються фізичні поняття та методи розрахунку втрат, що є в ступенях турбіни.

Мета та цілі дисципліни

Виробити у студента теоретичні уявлення та практичні навички з використання основних понять, термінології класифікації парових турбін, надання студентам базових знань про основні цикли паротурбінних установок, принципи функціонування та конструктивні особливості ступенів парових турбін, термінологію та основні поняття в галузі турбінобудування, класифікацію

парових турбін, фізичні процеси, що протікають в проточній частині ступенів турбіни, методи теплових розрахунків ступенів парових турбін різного типу..

Формат занять

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

Компетентності

ФК 4. Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання.

ФК 10. Здатність забезпечувати моделювання об'єктів і процесів з використанням стандартних і спеціальних пакетів програм та засобів автоматизації інженерних розрахунків, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів.

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 3. Розуміння широкого міждисциплінарного контексту спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

ПР 7. Проектувати об'єкти енергетичного машинобудування, застосувати сучасні комерційні та авторські програмні продукти на основі розуміння передових досягнень галузі.

ПР 11. Розуміння застосовуваних методик проектування і досліджень у сфері енергетичного машинобудування, а також їх обмежень.

ПР 12. Застосовувати практичні навички вирішення завдань, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень

ПРП 1. Використовувати знання і розуміння інженерних питань, що лежать в основі спеціальності 142 - Енергетичне машинобудування. Застосовувати сучасні методики розрахунків, проектування та дослідження енергетичного обладнання.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 150 год. (5 кредитів ECTS лекцій – 48 годин, лабораторні роботи – 16 годин, практичні заняття – 16 годин, самостійна робота – 70 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 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.

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

Тема 2. Основні рівняння течії стислої рідини. Рівняння стану. Рівняння витрат, рівняння кількості руху, енергії.

Критичне відношення тиску, критична швидкість, критична витрата.

Сопла, форма каналу сопла, визначення швидкості витоку з сопел, визначення площі сопел.

Втрати при течії в соплах.

Тема 3. Решітки профілів. Геометричні та аеродинамічні характеристики решіток.

Експериментальне визначення аеродинамічних характеристик решіток.

Профільні втрати в решітках.

Залежність профільних втрат від геометричних та режимних характеристик решіток.

Кінцеві втрати в решітках.

Залежність кінцевих втрат в решітках від геометричних та режимних характеристик решіток.

Тема 4. Надзвукова течія в решітках.

Течія пари в косому зрізі решіток. Формула Бера.

Тема 5. Ступень турбіни. Геометричні характеристики ступенів.

Соплові решітки турбінних ступенів. Визначення швидкості виходу пари із соплової решітки.

Сила, момент та потужність на робочих лопатках ступеня.

Визначення швидкості виходу з робочих лопаток турбінного ступеня. Поняття реактивності ступеня.

Приклад теплового розрахунку турбінного ступеня.

Тема 6. Відносний лопатковий ККД ступеня активного типу.

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 7. Ступені швидкості. Відносний лопатковий ККД, Оптимальне відношення (U/C_f).

Тепловий розрахунок ступеня та визначення розмірів.

Деякі переваги та недоліки реактивного ступеня. Використання реактивності в турбінному ступені.

Тема 8. Внутрішній відносний ККД. Втрати тертя та їх вплив на оптимальне відношення (U/C_f)

Втрати від парціальності та їх вплив на оптимальне відношення (U/C_f).

Втрати з витоками між нерухомими та рухомими деталями турбін. Лабіринтове ущільнення.

Розрахунок витоку з лабіринтового ущільнення

Втрати від витоку в турбінному ступені. Схема витоку.

Конструкції лабіринтових ущільнень. Кінцеві ущільнення.

Витрати, пов'язані з течією вологої пари в ступені.

Заходи по зменшенню впливу вологи на ККД та лопатковий апарат ступеня.

Тема 8. Внутрішній відносний ККД. Втрати тертя та їх вплив на оптимальне відношення (U/C_f)

Втрати від парціальності та їх вплив на оптимальне відношення (U/C_f).

Втрати з витоками між нерухомими та рухомими деталями турбін. Лабіринтове ущільнення.

Розрахунок витоку з лабіринтового ущільнення
Втрати від витоку в турбінному ступені. Схема витоку.
Конструкції лабіринтових ущільнень. Кінцеві ущільнення.
Витрати, пов'язані з течією вологої пари в ступені.
Заходи по зменшенню впливу вологи на ККД та лопатковий апарат ступеня.

Теми практичних занять

Тема 1. Цикли паротурбінних установок.

Визначення наявного теплоперепаду на ступінь, відносного внутрішнього ККД ступеня, питомої витрати пари, питомої витрати тепла, відносного електричного ККД.

Тема 2. Визначення абсолютного електричного ККД турбоустановки.

комбінованої виробки тепла, питомої витрати пари та питомої витрати тепла циклу з регенерацією.

Тема 3. Решітки профілів.

Визначення параметрів ізоентропійного гальмування, теоретичної швидкості виходу пари із соплових решіток, критичних параметрів, критичної й максимальної швидкості.

Тема 4. Аеродинамічні характеристики профілів.

Визначення наявного теплоперепаду на ступінь, відносного внутрішнього ККД ступеня, питомої витрати пари, питомої витрати тепла, відносного електричного ККД.

Підібрати по атласу профілів соплові решітки й визначити коефіцієнт швидкості.

Визначення кута відхилення потоку пари в косому зрізі соплових решіток, площі робочих решіток, її висоти та число лопаток.

Тема 5. Визначення коефіцієнта витрати соплових решіток, площі мінімального й вихідного перетинів решіток сопел, що розширюються, витрату пари.

Тема 6. Розрахунок ступеня.

Визначення оптимального наявного теплоперепаду ступеня, побудова трикутників швидкостей і визначення відносного лопаткового ККД.

Тема 7. Розрахунок ступеня на середньому радіусі.

Побудова трикутників швидкості.

Тема 8. Розрахунок ступеня на середньому радіусі.

Визначення втрат енергії в H-S діаграмі.

Тема 9. Розрахунок ступеня швидкості по середньому радіусі.

Побудова трикутників швидкості, визначення втрат в H -S діаграмі.

Тема 10. Розрахунок і проектування ступеня з урахуванням зміни параметрів потоку по радіусу.

Визначення довжини лопаток, кутів α_1 , β_1 , β_2 й їхню зміну по висоті лопаток ступеня.

Тема 11. Розрахунок і проектування ступеня з урахуванням зміни параметрів потоку по радіусу.

Побудова трикутників швидкості вздовж радіуса ступеня.

Тема 12. Внутрішній відносний ККД ступеня.

Визначення додаткових втрат тертя, парціальності та витоків в H -S діаграмі та внутрішнього відносного ККД ступеня.

Модульна контрольна 1

Тема 13. Втрати енергії в ступені.

Визначення відносних втрат на тертя диска й втрат від парціального підведення пари.

Тема 14. Втрати енергії в ступені.

Визначення відносних втрат від вологості пари.

Тема 15. Багатоступінчата турбіна.

Тепловий розрахунок проточної частини багатоступінчатої турбіни (орієнтований).

Тема 16. Багатоступінчата турбіна.

Тепловий розрахунок проточної частини багатоступінчатої турбіни (детальний).

Модульна контрольна 2

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 $U/C\phi$.

Тема 9. Визначення ККД в залежності від $U/C\phi$.

Тема 10. Визначення ККД в залежності від $U/C\phi$.

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

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

Тема 13. 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):

"Тепловий розрахунок ступеня парової турбіни по середньому діаметру". Розрахункова робота виконується з метою придбання студентами практичних навичок одномірного теплового розрахунку турбінного ступеня по середньому діаметру. В процесі розрахункової роботи будуть знайдені значення основних геометричних (конструктивних), кінематичних та термогазодинамічних 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 проточні 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 «ХПІ»: 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 «ХПІ» 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