Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична інженерія" зі спеціальності 142 –"Енергетичне машинобудування"

" Газові турбіни поршневих і комбінованих двигунів "

90 год. / 2,5 кредити ЕКТС
(15 год. лекцій, 15 год. практичних занять)

Навчальний контент

8-й семестр

Модуль 1.

Змістовий модуль 1.1. Основні типи лопаткових машин і перетворення в них енергії. Типи турбінних решіток та їх геометричні характеристики

Тема 1. Будова та принцип дії найпростішої осьової турбіни. Активні та реактивні ступені. Радіальні турбіни. Геометричні характеристики решіток турбінних ступенів.

Змістовий модуль 1.2. Основні рівняння одновимірного газового потоку стосовно турбінних решіток. Рівняння стану, суцільності, енергії. Ізоентропійний процес розширення газу в сопловій та робочій решітках

Тема 2. Основні рівняння усталеного одновимірного газового потоку. Ізоентропійний процес розширення газу в сопловій та робочій решітках.

Змістовий модуль 1.3. Визначення теоретичних швидкостей витікання робочого тіла з решіток. Втрати в турбінних решітках

Тема 3. Визначення теоретичних швидкостей витікання робочого тіла з решіток. Дійсний процес течії в соплових та в рухомих каналах. Втрати в турбінних решітках.

Змістовий модуль 1.4. Основи розрахунку осьового турбінного ступеня

Тема 4. Основи розрахунків колових і внутрішніх втрат осьового ступеня. Визначення колового та внутрішнього ККД ступеня. Відображення процесів, які протікають у осьовому ступені, у h-s – координатах.

Змістовий модуль 1.5. Основи розрахунку радіально-осьового турбінного ступеня

Тема 5. Основи розрахунку радіально-осьового турбінного ступеня

Модуль 2.

Змістовий модуль 2.1 Постановка та метод вирішення задачі оптимізації параметрів турбінного ступеня на базі одновимірної моделі течії робочого тіла

Тема 6. Постановка та метод вирішення задачі оптимізації параметрів турбінного ступеня на базі одновимірної моделі течії робочого тіла (визначення безрозмірної характеристики ступеня).

Змістовий модуль 2.2 Методи перетворення великих енергій із високим ККД.

Тема 7. Методи перетворення великих енергій із високим ККД. Співвідношення між максимальними теплоперепадами, які можливо спрацювати у ступенях різного типу при їхньому максимальному ККД і однаковій коловій швидкості.

Змістовий модуль 2.3 Турбіни зі ступенями тиску і швидкості

Тема 8. Багатоступінчасті турбіни зі ступенями тиску і швидкості.

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 12 – "Інформаційні технології" зі спеціальності 121 –"Інженерія програмного забезпечення"

" Газові турбіни поршневих і комбінованих двигунів "

90 год. / 2,5 кредити ЕКТС
(15 год. лекцій, 30 год. практичних занять)

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
8-й семестр		
1	Вивчення принципу дії та конструкції турбін агрегатів наддуву.	2
2	Розв'язування задач із теми: "Робочий процес у турбінному ступені" (активні та реактивні ступені).	2
3	Розв'язування задач із теми: "Визначення оптимальних параметрів турбінного ступеня, побудова трикутників швидкостей".	2
4	Розв’язування задач із теми: "Втрати у ступенях турбіни. Коефіцієнти корисної дії ступенів турбіни".	2
5	Розв’язування задач із теми: "Особливості робочого процесу радіально-осьової доцентрової турбіні".	2
6	Розв’язування задач із теми: "Визначення розмірів сопл, робочих лопаток і вихідного дифузора".	2
7	Сумісна робота компресора турбіни та поршневої частини комбінованого двигуна. Способи регулювання потужності турбін надувних агрегатів.	3
Разом		**15**

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична інженерія" зі спеціальності 142 –"Енергетичне машинобудування"

" Газові турбіни поршневих і комбінованих двигунів "

90 год. / 2,5 кредити ЕКТС
(15 год. лекцій, 30 год. практичних занять)

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
8-й семестр		
1	Будова та принцип дії найпростішої осьової турбіни. Активні та реактивні ступені. Радіальні турбіни. Геометричні характеристики решіток турбінних ступенів	8
2	Основні рівняння усталеного одновимірного газового потоку. Ізоентропійний процес розширення газу в сопловій та робочій решітках	8
3	Визначення теоретичних швидкостей витікання робочого тіла з решіток. Дійсний процес течії в соплових та в рухомих каналах. Втрати в турбінних решітках	6
4	Основи розрахунків колових та внутрішніх втрат осьового ступеня. Визначення колового та внутрішнього ККД ступеня. Відображення процесів , які протікають у осьовому ступені, у h-s - координатах	6
5	Основи розрахунку радіально-осьового турбінного ступеня	9
6	Постановка та метод вирішення задачі оптимізації параметрів турбінного ступеня на базі одновимірної моделі течії робочого тіла (визначення безрозмірної характеристики ступеня)	1
7	Методи перетворення великих енергій із високим ККД. Співвідношення між максимальними теплоперепадами, які можливо спрацювати у ступенях різного типу при їхньому максимальному ККД і однаковій коловій швидкості	1
8	Багатоступінчасті турбіни зі ступенями тиску і швидкості	1
Разом		**40**

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична інженерія" зі спеціальності 142 –"Енергетичне машинобудування"

" Газові турбіни поршневих і комбінованих двигунів "

90 год. / 2,5 кредити ЕКТС
(15 год. лекцій, 30 год. практичних)

Завдання для поточного та підсумкового контролю

Контрольні питання до 1-го модуля

Контрольні питання до змістового модуля 1.1.

1. Навести схеми газвідведення комбінованих двигунів.
2. Представити принципові схеми включення турбоприводів у складі ДВЗ з газотурбінним наддувом.
3. Дати визначення турбінного двигуна
4. У чому полягає принцип дії найпростішої осьової турбіни?
5. Дати визначення турбінного ступеня.
6. Навести основні типи радіальних турбінних ступенів.
7. У чому полягає відмінність процесів радіального ступеня від процесів, які протікають у осьових ступенях?
8. Назвати основні відмінності між турбінним і поршневим двигунами.
9. Описати силову дію потоку на робочі лопатки турбіни.
10. Надати перелік основних геометричних характеристик решіток турбінних ступенів.
11. Назвати основні геометричні характеристики турбінних лопаток.
12. Охарактеризувати сили, що діють у плоскій решітці при обтіканні її потоком газу.

Визначити особливості силової дії потоку на лопатки активного типу.

14. У чому полягають особливості силової дії потоку на лопатки реактивного типу?

Контрольні питання до змістового модуля 1.2.

1. Дати визначення одновимірного усталеного газового потоку.
2. У чому полягають переваги одновимірної моделі газового потоку?
3. Вивести рівняння суцільності руху для одновимірного газового потоку.
4. Вивести рівняння імпульсу для одновимірного газового потоку.
5. Навести рівняння енергії для одновимірного газового потоку.
6. Сформулювати основне рівняння турбін.
7. Дати визначення і показати зміну повних (загальмованих) параметрів уздовж турбінного ступеня.
8. Зобразити ізоентропійний процес розширення робочого тіла у сопловій решітці за допомогою h-s діаграми.
9. Зобразити ізоентропійний процес розширення робочого тіла у робочій решітці з реактивними профілями за допомогою h-s діаграми.

10. Зобразити ізоентропійний процес розширення робочого тіла у робочій решітці з активними профілями за допомогою h-s діаграми.
11. Порівняти параметри гальмування у абсолютному та відносному русі у робочій решітці.
12. Особливості розрахунку швидкості витікання потоку із сопла в дійсному процесі.
13. Особливості течії потоку в рухомих міжлопаткових каналах.

Контрольні питання до змістового модуля 1.3.

1. Дати визначення швидкості звуку.
2. Дати визначення максимальній швидкості витікання.
3. Дати визначення критичної швидкості.
4. Дати визначення критичних параметрів.
5. Представити графічну залежність зміни швидкості звуку від співвідношення тисків на виході та вході із соплового каналу
6. Дати визначення числу Маха (М).
7. Що таке безрозмірна швидкість (λ)?
8. Охарактеризуйте критичні параметри потоку газу в турбінних решітках.
9. Визначити теоретичну швидкість витікання потоку із соплової решітки.
10. Визначити теоретичну швидкість витікання потоку із косого зрізу соплової решітки при наявності критичній швидкості у горлі сопла.
11. Визначити дійсну швидкість витікання потоку із соплової та робочої решітки.
12. Що таке ступінь реактивності турбінного ступеня?
13. Побудувати вхідний та вихідний трикутники швидкостей для турбінного ступеня.
14. У чому полягає відмінність трикутників швидкості для активних і реактивних турбінних ступенів?
15. Перерахувати обов’язкові профільні втрати нерухомих решітках.
16. Які втрати у решітках належать до кінцевих?
17. Перерахувати необов’язкові профільні втрати у нерухомих решіток.
18. Які додаткові профільні втрати виникають у рухомих решітках?
19. Перелічити необов’язкові профільні втрати у нерухомих решітках.

Контрольні питання до змістового модуля 1.4.

1. Вибір вихідних параметрів, необхідних для розрахунків турбіни агрегату наддуву комбінованого ДВЗ.
2. Перелічити колові втрати турбінного ступеня.
3. Навести формулу для визначення втрат у сопловому апараті.
4. Навести формули для визначення втрат у каналах робочої решітки турбінного ступеня.
5. Навести формулу для визначення втрат з вихідною швидкістю для турбінного ступеня.
6. Зобразити процеси розширення газу у ***h-s*** – координатах із урахуванням колових втрат для осьового ступеня.

7. Навести формули для визначення колової роботи турбінного ступеня.
8. Показати на трикутниках швидкості складові добутку колової роботи турбінного ступеня.
9. Дати визначення колового ККД турбінного ступеня.
10. Які втрати турбінного ступеня належать до внутрішніх?
11. Зобразити процеси розширення газу у ***h-s*** – координатах із урахуванням внутрішніх втрат для осьового ступеня
12. Які втрати турбінного ступеня належать до додаткових внутрішніх втрат?
13. Дати визначення внутрішнього ККД турбінного ступеня.
14. Внутрішня та ефективна потужність турбіни.
15. Визначити довжину вихідних кромок соплових лопаток.
16. Визначити довжину робочих лопаток.
17. Які значення відносного середнього діаметру ступеня λ найбільш сприйнятні з економічної точки зору?
18. Яке співвідношення повинно виконуватися між середнім діаметром робочого колеса та зовнішнім діаметром робочого колеса відцентрового компресора?
19. Від яких сил залежить напруження у кореневому перерізі робочої лопатки?
20. Навести формулу для визначення напруження розтягу в робочій лопатці.
21. Який допустимий коефіцієнт запасу міцності приймається для робочих лопаток газових турбін?
22. Які критерії визначають застосування осьових або радіальних турбін?
23. Пояснити вплив вихідного дифузора на параметри і характеристики турбін.
24. Назвіть причини застосування закручених турбінних лопаток.

Контрольні питання до змістового модуля 1.5.

1. Які турбінні ступені застосовуються у турбокомпресорах типу ТК та типу ТКР?
2. Чим відрізняється лопатки радіально-осьової доцентрової турбіни від лопаток радіальної доцентрової турбіни?
3. Чому в сучасній енергетиці практично не використовуються відцентрові турбіни?
4. За якими параметрами визначається наявний теплоперепад у турбінному ступені?
5. Чим зумовлено виникнення коріолісових сил у радіальних турбінах?
6. Зобразити на ***h-s*** – діаграмі процесу розширення газу в радіальному ступені роботу коріолісових сил.
7. Дати визначення міри реактивності радіального ступеня ρ.
8. Чим зумовлена необхідність збільшення мінімальної міри реактивності радіального ступеня по відношенню до осьового?
9. У яких межах обирається значення міри реактивності радіально-осьового турбінного ступеня?
10. Яким чином визначається оптимальне значення безрозмірної характеристики радіально-осьового турбінного ступеня $\left(\frac{U_1}{C_{ad}}\right)_{opt}$?

11. Дати визначення оптимальної міри радіальності радіально-осьового колеса ступеня χ_{opt} .
12. Побудувати трикутники швидкостей доцентрового радіально-осьового ступеня і відобразити на них питому колову роботу ступеня.
13. Які втрати радіально-осьового турбінного ступеня належать до внутрішніх?
14. Визначити висоту соплових лопаток радіально-осьового турбінного ступеня.
15. Визначити довжину робочих лопаток радіально-осьового турбінного ступеня.

Модуль 2
Методи перетворення великих енергій із високим ККД

Контрольні питання до змістового модуля 2.1

1. Які втрати враховує коловий ККД турбінного ступеня η_u?
2. Який коефіцієнт визначає втрати у сопловому апараті?
3. Який коефіцієнт визначає втрати у робочих лопатках?
4. Який коефіцієнт (характеристика) визначає втрати ступеня із вихідною швидкістю?
5. Від яких безрозмірних величин залежить коловий ККД турбінного ступеня η_u?
6. Які режимні параметри турбінного ступеня суттєво впливають на його коловий ККД?
7. Які коефіцієнти належать до швидкісних?
8. Дати визначення швидкісної характеристики ступеня ν_1.
9. Який характер мають залежності $\eta_u = f(\nu_1)$ при фіксованому значенні міри реактивності турбінного ступеня ρ?
10. Чому відповідає оптимальне значення характеристики ступеня $\nu_{1опт}$?
11. Які втрати у турбінному ступені мають мінімальні значення при оптимальному значенні характеристики ступеня $\nu_{1опт}$?
12. Який напрям буде мати абсолютна швидкість на виході зі ступеня при оптимальному значенні характеристики ступеня $\nu_{1опт}$?
13. Побудувати трикутники швидкості для активного турбінного ступеня при оптимальному значенні характеристики ступеня $\nu_{1опт}$.
14. Побудувати трикутники швидкості для реактивного турбінного ступеня при оптимальному значенні характеристики ступеня $\nu_{1опт}$.
15. Порівняти оптимальні значення характеристик за коловими втратами $(\nu_{1опт})_u$ і за внутрішніми втратами $(\nu_{1опт})_i$.

Контрольні питання до змістового модуля 2.2

1. Надати порівняльну оцінку і вказати області застосування турбінних ступенів
2. Вивести формулу для визначення оптимального значення характеристики активного ступеня $\nu_{1опт\,A}$.
3. Вивести формулу для визначення оптимального значення характеристики реактивного ступеня $\nu_{1опт\,R}$.

4. Вивести формулу для визначення оптимального значення характеристики активного двовінечного ступеня $\nu_{1опт\ А2}$.
5. Навести загальну формулу для визначення оптимальних значень характеристик різноманітних турбінних ступенів $\nu_{1опт}$.
6. Вивести формулу для визначення наявного теплоперепаду ступеня через колову швидкість при максимальному значенні колового ККД.
7. Яке співвідношення між наявними теплоперепадами при однаковій коловій швидкості та при максимальному значенні колового ККД у двовінцевому активному, активному та реактивному ступенях?
8. Яке співвідношення між наявними теплоперепадами при однаковій коловій швидкості та при максимальному значенні колового ККД у двовінцевому активному та у активному ступенях?
9. Яке співвідношення між наявними теплоперепадами при однаковій коловій швидкості та при максимальному значенні колового ККД у активному та у реактивному ступенях?
10. Яке співвідношення між коловими швидкостями у двовінцевому активному, активному та реактивному ступенях, якщо наявні теплоперепади при максимальних значеннях колового ККД у всіх ступенях однакові?
11. Дати визначення теоретичній швидкості, що відповідає наявному теплоперепаду ступеня (турбіни).
12. Дати визначення безрозмірної характеристики ступеня (турбіни) ν.
13. Для яких ступенів справедливо рівняння $\nu_1 \approx 0{,}5$?
14. Побудувати діаграму залежності $\eta_u = f(\nu)$ для різних типів ступенів і встановити діапазон зміни ν, у якому коловий ККД кожного окремого ступеня перевищує ККД усіх інших.
15. З точки зору можливостей ефективного використання наявного тепло-перепаду, якій кількості активних та реактивних ступенів рівноцінний один активний двовінечний ступінь?
16. Які переваги і недоліки має реактивний ступінь перед активними ступенями?

Контрольні питання до змістового модуля 2.3

1. Принцип дії та конструктивні особливості багатовінцевих активних ступенів.
2. Якою кількістю робочих вінців обмежуються використання багатовінцевих активних ступенів?
3. Пояснити умови застосування багатоступінчастих турбін.
4. Дати характеристику особливостям багатоступінчастих турбін.
5. Проаналізувати умови використання вихідної енергії ступенів.
6. Пояснити, за допомогою яких показників здійснюється оцінка ефективності проміжних турбінних ступенів.
7. У чому полягає необхідність застосування багатоступеневих турбін тиску?
8. Проаналізувати умови використання вихідної енергії ступенів.
9. Дайте характеристику коефіцієнта повернутої теплоти.
10. Проаналізуйте зв'язок ККД турбіни із ККД окремих її ступенів.
11. Умови застосування і особливості багатоступінчастих турбін.
12. Характеристика багатоступінчастої турбіни зі ступенями тиску.

13. Характеристика багатоступінчастої турбіни зі ступенями швидкості.
14. Конструктивні особливості активних і реактивних багатоступінчастих турбін.
15. Які типи роторів використовуються для багатоступінчастих активних і ре активних турбін?