

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНИХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНИХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

**МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ
до практичних занять**

навчальної дисципліни «Термодинаміка та теплопередача»
обов'язкових компонент

освітньої програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Аеронавігація

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 23.09.2021 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.09.2021 № 2

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 30.08.21 № 1

Розробники: викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Яніцький А.А.

Рецензенти:

Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.

Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.

ПЛАН ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Вступ. Практичне заняття – це форма навчального заняття, під час якого організовується детальний розгляд здобувачами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни «Термодинаміка та теплопередача» та формується вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання здобувачами відповідно до сформульованих завдань.

Практичні заняття є обов'язковими при вивченні дисципліни «Термодинаміка та теплопередача» і повинні складати не менше третини обсягу аудиторних занять. У процесі розв'язування задач здобувачі набувають відповідних умінь і навичок. Сукупність завдань практичного заняття підбирається з урахуванням рівня підготовки та переходу від простого до складного.

Зміст практичних занять повинен враховувати внутрішні і міжпредметні зв'язки, демонструвати важливість матеріалу, як засіб активізації пізнавальної діяльності здобувачів. Мотивація пізнавальної діяльності – це необхідна психологічна підготовка здобувачів до сприйняття програмного матеріалу та його практичного застосування.

Важливим елементом практичного заняття є застосування знань при розв'язанні типових задач, проте з метою розвитку творчого застосування умінь і навиків на практичних заняттях можуть розглядатися завдання підвищеної складності, але потрібно враховувати і те, що здобувачі втрачають інтерес до навчання, коли стикаються з непосильними задачами.

Ефективність набуття умінь і навичок безпосередньо залежить від рівня теоретичної підготовки здобувачів, тому контроль знань є невід'ємною частиною практичного заняття.

Мета проведення практичних занять: розширення, поглиблення й деталізація наукових знань, отриманих здобувачами на лекціях та в процесі самостійної роботи і спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення здобувачів, формування у здобувачів досить широкої у теоретичному плані підготовки надасть їм можливості вільно орієнтуватися в рішенні задач, що виникають при вивченні спеціальних предметів.

У результаті виконання практичної роботи з навчальної дисципліни «Термодинаміка та теплопередача» здобувачі повинні:

знати:

- основні фізико-механічні властивості і параметри рідини і газу;
- основні закони термодинаміки;
- термодинамічні закономірності енергомеханічних перетворень енергії;
- закономірності термодинамічних циклів теплових машин;
- поведінку робочих тіл термодинамічних процесів в залежності від зміни параметрів;
- протікання процесів теплообміну: теплопровідності, конвекції і теплового випромінювання.

уміти:

- використовувати основні закони термодинаміки для визначення параметрів течії в різних умовах;
- виконувати розрахунки основних параметрів компресорів, циклів двигунів внутрішнього згорання, газотурбінних та паросилових установок і холодильних машин;
- проводити аналіз процесів теплообміну: теплопровідності, конвекції і теплового випромінювання;
- робити аналіз зміни параметрів робочого тіла теплових машин.

2 ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Найменування тем	Кількість годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
1	Тема 1. Термодинамічна система та її стан Тема 2. Перший закон термодинаміки. Термодинамічні процеси в газах	0	
2	Тема 3. Другий закон термодинаміки	0	
3	Тема 4. Ідеальні цикли теплових двигунів	2	
4	Тема 5. Основні рівняння термодинаміки газового потоку	0	
5	Тема 6. Розгін і гальмування газового потоку	0	
6	Тема 7. Види теплообміну. Теплопровідність	2	
7	Тема 8. Конвективний теплообмін	2	
8	Тема 9. Теплообмін випромінюванням	2	
9	Тема 10. Передача теплоти через стінки. Методи теплового захисту	2	
9	Тема 11. Теплообмінні апарати	2	4
ВСЬОГО		10	4

3. ПЛАНИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Тема: Термодинамічна система та її стан. Перший закон термодинаміки.
Термодинамічні процеси в газах

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Основні поняття і визначення. Параметри стану системи і рівняння стану.
2. Рівняння стану ідеального газу.
3. Рівняння стану реальних газів.
4. Термодинамічний процес. Рівноважні, нерівноважні й квазірівноважні термодинамічні процеси
5. Теплоємність газів. Види теплоємності.
6. Теплоємність газів.
7. Внутрішня енергія системи.
8. Перший закон термодинаміки.
9. Робота і теплота.
10. Ентальпія.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань (здобувачів):

1. Газові суміші.
2. Теплоємність суміші газів.
3. Методика дослідження термодинамічних процесів: ізохорний процес.
4. Методика дослідження термодинамічних процесів: ізобарний процес.
5. Методика дослідження термодинамічних процесів: ізотермічний процес.
6. Методика дослідження термодинамічних процесів: адіабатний процес.
7. Методика дослідження термодинамічних процесів: політропні процеси.
8. Аналіз політропних процесів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

Тема: Другий закон термодинаміки

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Оборотні й необоротні процеси
2. Колові процеси (цикли).
3. Формулювання другого закону термодинаміки.
4. Термічний ККД циклу теплової машини.

5. Цикл Карно й теореми Карно.
6. Наведена теплота і нерівність Клазіуса
7. Ентропія. Властивості ентропії в оборотних процесах.
8. Ентропія ізольованої системи.
9. Ентропія ідеального газу.
10. T, s – координати.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань здобувачів:

1. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: ізотермічний процес.
2. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: адіабатний процес.
3. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: ізохорний процес.
4. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: ізобарний процес.
5. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: політропні процеси.
6. Цикл Карно в T, s – координатах.
7. i, s – координати.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

Тема: Ідеальні цикли теплових двигунів

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Термодинамічний метод дослідження циклів теплових двигунів. Графічний метод порівняння циклів в T, s – координатах. Метод порівняння циклів шляхом порівняння середніх температур підведення і відведення теплоти в циклі.
2. Цикл газотурбінних двигунів – цикл Брайтона.
3. Цикли газотурбінних двигунів із ступінчастим підведенням теплоти.
4. Цикл Брайтона з регенерацією теплоти.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань здобувачів:

1. Цикл поршневих двигунів – цикл Отто.
2. Цикл поршневих двигунів – цикл Дизеля.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

Тема: Основні рівняння термодинаміки газового потоку

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Основні рівняння термодинаміки газового потоку: рівняння нерозривності.
2. Основні рівняння термодинаміки газового потоку: рівняння збереження енергії.
3. Узагальнене рівняння Бернуллі.
4. Окремі випадки узагальненого рівняння Бернуллі: компресор, турбіна.
5. Параметри адіабатно загальмованого потоку.
6. Спосіб вимірювання повної температури газового потоку. Способи вимірювання повного і статичного тиску газового потоку.
7. Рівняння збереження енергії в параметрах загальмованого потоку. Окремі випадки рівняння збереження енергії.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань здобувачів:

1. Критичні параметри потоку.
2. Приведена швидкість.
3. Газодинамічні функції.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Тема: Розгін і гальмування газового потоку

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Зміна повної температури і повного тиску у газовому потоці.
2. Особливості розгону і гальмування газового потоку при різних впливах.
3. Закономірності зміни параметрів ідеального газу при енергоізоляції течії в каналі.
4. Форма каналу, необхідна для розгону або гальмування газового потоку: сопло.
5. Форма каналу, необхідна для розгону або гальмування газового потоку: дифузор.
6. Ідеальна течія газу в соплах. Основні поняття і визначення. Можливі режими роботи сопла.
7. Швидкість витікання газу з сопла.
8. Ідеальна течія газу в соплі, що звужується: режими роботи сопла, що звужується.
9. Вплив $\pi_{c-расп}$ на течію газу в соплі, що звужується. Витрати газу через сопло.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань здобувачів:

1. Ідеальна течія газу в соплі Лавалю: зміна параметрів газу уздовж сопла Лавалю, режим роботи сопла Лавалю.
2. Ідеальна течія газу в соплі Лавалю: вплив \overline{F}_2 на течію в соплі Лавалю.
3. Ідеальна течія газу в соплі Лавалю: витрати газу через сопло Лавалю, вплив p_1^* на течію в соплі Лавалю.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

Тема: Види теплообміну. Теплопровідність. Конвективний теплообмін

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

9. Види переносу теплоти. Температурне поле. Тепловий потік.
10. Закон Фур'є. Диференціальне рівняння теплопровідності.
11. Теплопровідність плоскої стінки.
12. Теплопровідність циліндричної стінки. Контактний тепловий опір.
13. Фізична картина процесу конвективного теплообміну: прикордонний шар; фактори, що впливають на інтенсивність тепловіддачі.
14. Фізична картина процесу конвективного теплообміну: фактори, що впливають на інтенсивність тепловіддачі.
15. Формула Ньютона.
16. Диференціальні рівняння конвективного теплообміну.
17. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: основні поняття і визначення теорії подібності фізичних процесів.
18. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: перша теорема подібності, критерії подібності.
19. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: друга теорема подібності, рівняння подібності.
20. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: виділення головних визначальних критеріїв подібності, явище автомодельності; моделювання фізичних явищ.
21. Тепловіддача при обтіканні плоскої пластини.
22. Особливості тепловіддачі при обтіканні криволінійних поверхонь.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань здобувачів:

1. Конвективний теплообмін при вимушеній течії в каналах.

2. Особливості теплообміну при русі газу з великою швидкістю: температура відновлення.

3. Особливості теплообміну при русі газу з великою швидкістю: густина теплового потоку; критеріальне рівняння.

4. Конвективний теплообмін при вільному русі теплоносія в необмеженому просторі.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

Тема: Теплообмін випромінюванням

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Основні поняття теплового випромінювання.
2. Основні закони теплового випромінювання.
3. Теплообмін випромінюванням між плоскими стінками і в замкнутій порожнині.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань здобувачів:

1. Вплив екранів на теплообмін випромінюванням.
2. Особливості випромінювання газів і полум'я.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8

Тема: Передача теплоти через стінки. Методи теплового захисту

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Передача теплоти через плоску стінку.
2. Передача теплоти через циліндричну стінку.
3. Теплова ізоляція.
4. Передача теплоти через ребро і реберну стінку.
5. Методи теплового захисту.
6. Конвективне охолодження.

Перелік питань для поточного контролю (та/або самоконтролю) знань здобувачів:

1. Загороджувальне охолодження.
2. Проникаюче (пористе) охолодження.
3. Теплозахисні покриття.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9

Тема: Теплообмінні апарати

Перелік завдань для розгляду на практичному занятті:

1. Основні типи теплообмінних апаратів та їх застосування.
2. Теплопередача в рекуперативних теплообмінниках.
3. Зміна температури теплоносіїв в теплообміннику.
4. Визначення величини площі робочої поверхні теплообмінника.
5. Визначення середнього температурного напору. Визначення середніх температур теплоносіїв.

Модульна контрольна робота

1. Основні поняття і визначення. Параметри стану системи і рівняння стану.
2. Рівняння стану ідеального газу.
3. Рівняння стану реальних газів.
4. Термодинамічний процес. Рівноважні, нерівноважні й квазірівноважні термодинамічні процеси
5. Теплоємність газів. Види теплоємності.
6. Теплоємність газів.
7. Газові суміші.
8. Теплоємність суміші газів.
9. Внутрішня енергія системи.
10. Перший закон термодинаміки.
11. Робота і теплота.
12. Ентальпія.
13. Методика дослідження термодинамічних процесів: ізохорний процес.
14. Методика дослідження термодинамічних процесів: ізобарний процес.
15. Методика дослідження термодинамічних процесів: ізотермічний процес.
16. Методика дослідження термодинамічних процесів: адіабатний процес.
17. Методика дослідження термодинамічних процесів: політропні процеси.
18. Аналіз політропних процесів.
19. Оборотні й необоротні процеси
20. Колові процеси (цикли).
21. Формулювання другого закону термодинаміки.
22. Термічний ККД циклу теплової машини.
23. Цикл Карно й теореми Карно.
24. Наведена теплота і нерівність Клазіуса
25. Ентропія. Властивості ентропії в оборотних процесах.
26. Ентропія ізольованої системи.

27. Ентропія ідеального газу.
28. T, s – координати.
29. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: ізотермічний процес.
30. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: адіабатний процес.
31. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: ізохорний процес.
32. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: ізобарний процес.
33. Зображення основних оборотних термодинамічних процесів з ідеальним газом в T, s – координатах: політропні процеси.
34. Цикл Карно в T, s – координатах.
35. i, s – координати.
36. Термодинамічний метод дослідження циклів теплових двигунів. Графічний метод порівняння циклів в T, s – координатах. Метод порівняння циклів шляхом порівняння середніх температур підведення і відведення теплоти в циклі.
37. Цикл газотурбінних двигунів – цикл Брайтона.
38. Цикли газотурбінних двигунів із ступінчастим підведенням теплоти.
39. Цикл Брайтона з регенерацією теплоти.
40. Цикл поршневих двигунів – цикл Отто.
41. Цикл поршневих двигунів – цикл Дизеля.
42. Основні рівняння термодинаміки газового потоку: рівняння нерозривності.
43. Основні рівняння термодинаміки газового потоку: рівняння збереження енергії.
44. Узагальнене рівняння Бернуллі.
45. Окремі випадки узагальненого рівняння Бернуллі: компресор, турбіна.
46. Параметри адіабатно загальмованого потоку.
47. Спосіб вимірювання повної температури газового потоку. Способи вимірювання повного і статичного тиску газового потоку.
48. Рівняння збереження енергії в параметрах загальмованого потоку. Окремі випадки рівняння збереження енергії.
49. Критичні параметри потоку.
50. Приведена швидкість.
51. Газодинамічні функції.
52. Зміна повної температури і повного тиску у газовому потоці.

53. Особливості розгону і гальмування газового потоку при різних впливах.
54. Закономірності зміни параметрів ідеального газу при енергоізолюванні течії в каналі.
55. Форма каналу, необхідна для розгону або гальмування газового потоку: сопло.
56. Форма каналу, необхідна для розгону або гальмування газового потоку: дифузор.
57. Ідеальна течія газу в соплах. Основні поняття і визначення. Можливі режими роботи сопла.
58. Швидкість витікання газу з сопла.
59. Ідеальна течія газу в соплі, що звужується: режими роботи сопла, що звужується.
60. Вплив π_{c-pacn} на течію газу в соплі, що звужується. Витрати газу через сопло.
61. Ідеальна течія газу в соплі Лавалю: зміна параметрів газу уздовж сопла Лавалю, режим роботи сопла Лавалю.
62. Ідеальна течія газу в соплі Лавалю: вплив \overline{F}_2 на течію в соплі Лавалю.
63. Ідеальна течія газу в соплі Лавалю: витрати газу через сопло Лавалю, вплив p_1^* на течію в соплі Лавалю.
64. Види переносу теплоти. Температурне поле. Тепловий потік.
65. Закон Фур'є. Диференціальне рівняння теплопровідності.
66. Теплопровідність плоскої стінки.
67. Теплопровідність циліндричної стінки. Контактний тепловий опір.
68. Фізична картина процесу конвективного теплообміну: прикордонний шар; фактори, що впливають на інтенсивність тепловіддачі.
69. Фізична картина процесу конвективного теплообміну: фактори, що впливають на інтенсивність тепловіддачі.
70. Формула Ньютона.
71. Диференціальні рівняння конвективного теплообміну.
72. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: основні поняття і визначення теорії подібності фізичних процесів.
73. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: перша теорема подібності, критерії подібності.
74. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: друга теорема подібності, рівняння подібності.
75. Основи теорії подібності конвективного теплообміну: виділення головних визначальних критеріїв подібності, явище автомодельності; моделювання фізичних явищ.
76. Тепловіддача при обтіканні плоскої пластини.

77. Особливості тепловіддачі при обтіканні криволінійних поверхонь.
78. Конвективний теплообмін при вимушеній течії в каналах.
79. Особливості теплообміну при русі газу з великою швидкістю: температура відновлення.
80. Особливості теплообміну при русі газу з великою швидкістю: густина теплового потоку; критеріальне рівняння.
81. Конвективний теплообмін при вільному русі теплоносія в необмеженому просторі.
82. Основні поняття теплового випромінювання.
83. Основні закони теплового випромінювання.
84. Теплообмін випромінюванням між плоскими стінками і в замкнутій порожнині.
85. Вплив екранів на теплообмін випромінюванням.
86. Особливості випромінювання газів і полум'я.
87. Передача теплоти через плоску стінку.
88. Передача теплоти через циліндричну стінку.
89. Теплова ізоляція.
90. Передача теплоти через ребро і реберну стінку.
91. Методи теплового захисту.
92. Конвективне охолодження.
93. Загороджувальне охолодження.
94. Проникаюче (пористе) охолодження.
95. Теплозахисні покриття.
96. Основні типи теплообмінних апаратів та їх застосування.
97. Теплопередача в рекуперативних теплообмінниках.
98. Зміна температури теплоносіїв в теплообміннику.
99. Визначення величини площі робочої поверхні теплообмінника.
100. Визначення середнього температурного напору. Визначення середніх температур теплоносіїв.

4 ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основна література:

1. Котовський В. Н. Технічна термодинаміка: тексти лекцій / В. Н.Котовський. - К.: НАУ, 2015.-88 с.
2. Котовський В. Н. Теплопередача: тексти лекцій / В. Н. Котовський. - К.: НАУ, 2015. - 76 с.

Додаткова література:

1. Базаров І. П. Термодинаміка: підручник / І. П. Базаров. - СПб: Видавництво «Лань», 2010. - 384 с.
2. Баранов В. М. Термодинаміка і теплопередача: навчальний посібник; 2-е видання, перероблене / В. М. Базаров, А. Ю. Коньков. - Хабаровськ: Видавництво ДВГУПС, 2004. - 91 с.
3. Кудінов В. А. Технічна термодинаміка і теплопередача: підручник для академічного бакалаврату; 3-е изд., Испр. і доп. / В. А. Кудінов, Е. М. Карташов, Є. В. Стефанюк. - М.: Видавництво «Юрайт», 2016. - 442 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <http://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka>
2. <https://works.doklad.ru/view/SvJcm0v0liM.html>
3. <https://uchitel.pro/>
4. <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl76.pdf>