ЗМІСТ

Вступ…… 4
1. Загальні методичні вказівки…… 5
2. Програма і методичні вказівки до тем дисципліни…… 5
3. Перелік лабораторних робіт…… 17
4. Наукова робота студентів…… 18
5. Контрольні завдання і методичні вказівки до їх виконання…… 19
6. Запитання для підготовки до іспитів…… 31
7. Рекомендована література…… 33
8. Додатки…… 34

ВСТУП

Мета викладання дисципліни – теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців за методами отримання, перетворення, передачі і використання теплоти в такій мірі, щоб вони могли вибрати і за потреби експлуатувати необхідне теплотехнічне обладнання, при цьому максимально економити теплові енергоресурси і матеріали, інтенсифікувати і оптимізувати технологічні процеси, виявляти і використовувати вторинні і нетрадиційні теплоенергоресурси.

Задача вивчення дисципліни – формування у студентів наступних знань та умінь: теплотехнічної термінології, законів отримання і перетворення енергії, методів аналізу ефективності використання теплоти; принципів дії, конструкцій, областей застосування і потенціальних можливостей теплових двигунів і теплообмінників; вимірювати основні теплотехнічні показники і експериментально визначати теплові характеристики теплоенергетичного обладнання (теплових двигунів, теплообмінників, тощо)

Програма дисципліни складена на основі типових програм із теплотехнічних дисциплін (індекс ГУМУ – 15/1 затвердженої головним учбово-методичним управлінням вищої освіти 29.09.1988 р.)

Після вивчення дисципліни майбутній інженер-механік повинен знати роль і значення теплових процесів, що відбуваються в різних теплоенергетичних агрегатах і машинах, які використовуються в машинобудівній галузі.

Вивчення дисципліни сприятиме формуванню знань в області філософії (тлумачення першого і другого законів термодинаміки), в економічній області (правильна оцінка рішень, направлених на економію паливно-енергетичних ресурсів) і захист навколишнього середовища від шкідливих викидів роботи теплових машин. Воно засноване на знаннях, отриманих при вивченні вищої математики, фізики, хімії і є основою для розуміння таких дисциплін, як автомобільні двигуни, автомобілі і трактори, технологічні процеси у виробництві та переробці сільськогосподарської продукції та інших технологіях, що використовують теплову енергію.

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

У природі відбуваються безперервні процеси переходу одних видів енергії у інші, які в кінцевому підсумку переходять в теплову енергію. Тому важко уявити які-небудь процеси в техніці, які відбувалися б без перетворень видів енергії, наприклад теплоти в роботу.

У дисципліні „Теоретичні основи теплотехніки" розглядаються основи теплових процесів стосовно теплових машин, поршневих двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), теплообмінників, які використовуються в машинобудуванні.

Дисципліна складається з чотирьох тем, а кожна тема з підтем.

Студенти денної форми навчання слухають курс лекцій (36 год.) і виконують лабораторні роботи. Студенти заочної форми навчання слухають курс лекцій (10 год.), виконують лабораторні роботи і контрольну роботу, утворену із декількох представлених задач. Після вивчення дисципліни студенти складають іспит або залік.

Структура лекцій, лабораторних робіт, а також самостійне вивчення сприяють повному розумінню і засвоєнню дисципліни „Теоретичні основи теплотехніки".

У відповідності із робочого програмою дисципліна складається із наступних тем:

1. Вступ. Теплотехніка, її місце і роль у підготовці фахівців.
2. Технічна термодинаміка.
3. Теорія тепломасообміну (теплопередача).
4. Промислова теплотехніка.

2. ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Вступ. Теплотехніка, її місце і роль у підготовці фахівців

Тема 1. Вступ. Теплотехніка, її місце і роль в підготовці фахівців.

Зв'язок теплотехніки з іншими галузями знань. Історія становлення теплотехніки і її роль в розвитку нової техніки і технологій. Проблеми економії паливно-енергетичних ресурсів. Шляхи підвищення ефективності теплоенер–гопостачання і захист навколишнього середовища.

Методичні вказівки

Вивчивши матеріали, пов'язані з цією темою, студент повинен засвоїти визначення дисципліни „Теплотехніка", значення і місце енергетики в народному господарстві, постійно стежити за публікаціями періодичної преси про вдосконалення структури енергоспоживання, шляхи і способи економії палива і тепловій енергії, захисту навколишнього середовища. [1. (с. 7-12)], [2. (с. 5-8)], [4. (с. 3-6)].

Запитання для самоперевірки

1. Визначення дисципліни „Теплотехніка”.
2. Значення теплоенергетики в народному господарстві країни.
3. Перспективи подальшого розвитку енергетики в Україні.
4. Розвиток атомної енергетики .
5. Застосування магніто-гідродинамічного методу отримання енергії.
6. Підвищення ефективності існуючих теплових електричних станцій.
7. Застосування газотурбінних установок (ГТУ).
8. Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії на теплоелектроцентралях (ТЕЦ).
9. Використання термоелектричних перетворювачів.
10. Створення електрохімічних генераторів енергії.
11. Використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії і низькопотенційної теплоти.
12. Комплексний підхід до виробництва і використання теплової енергії, в т.ч. вторинних енергетичних ресурсів.

Змістовий модуль 2. Технічна термодинаміка

Тема 2. Основні поняття і визначення технічної термодинаміки.

Предмет і метод технічної термодинаміки. Основні визначення. Основні теплотехнічні величини і їх розмірності в системі СІ. Основні параметри стану. Теплоємність. Масова, об’ємна молярна теплоємності. Теплоємність при сталих об’ємі і тиску. Середня і істинна теплоємності. Залежність теплоємності від температури. Рівняння Майєра і показника адіабати К.

Методичні вказівки

Ця частина теми являє собою комплекс визначень на основі яких вивчають всі подальші підтеми. Студенту необхідно добре усвідомити та засвоїти ці визначення [1. (с. 12-24, 26-28)], [2. (с. 18-37)], [3. (с. 6-11)].

Запитання для самоперевірки

1. Визначення розділу науки „Технічна термодинаміка”.
2. Поняття предмета і методу технічної термодинаміки
3. Основні поняття і визначення.
4. Міжнародна система одиниць вимірювання теплотехнічних величин.
5. Основні параметри стану: абсолютний тиск Р, абсолютна температура Т, об’єм V.
6. Визначення теплоємності.
7. Масова (питома), об’ємна, мольна теплоємності.
8. Ізохорна та ізобарна теплоємності.
9. Середня та істинна теплоємності.

Тема 3. Внутрішня енергія. Ентропія. Робота і теплота як форми передачі енергії. Графічне зображення роботи і теплоти в Pv – і Ts – координатах. Ідеальний газ. Рівняння станів ідеальних газів. Суміш ідеальних газів. Способи задавання суміші ідеальних газів.

Методичні вказівки

Студенту необхідно звернути особливу увагу на фізичний зміст і підрахунки теплових (калоричних) параметрів стану робочого тіла: внутрішньої енергії; ентальпії; ентропії. Окремо уяснити зміст і розрахунок теплоти і роботи, а також графічне зображення цих величин в Pv – і Ts – координатах.

Студенту потрібно звернути увагу на принципову відмінність між внутрішньою енергією як функцією стану газу і теплотою і роботою як функціями процесу. Треба засвоїти, що внутрішня енергія цілком визначена для кожного введеного стану газу, а робота і теплота взагалі не існують для окремого стану, а з'являється лише при наявності процесу (зміни стану) і, природно, залежать від характеру цього процесу [1. (с. 17-25)], [5. (с. 11-34)].

Запитання для самоперевірки

1. Визначення, фізичний зміст і підрахунок внутрішньої енергії робочого тіла.
2. Визначення, фізичний зміст і підрахунок ентропії робочого тіла.
3. Визначення, фізичний зміст і підрахунок ентальпії робочого тіла.
4. Поняття теплоти та її графічне зображення в Ts – координатах.
5. Поняття роботи та її графічне зображення в Pv координатах.
6. Визначення ідеального газу.
7. Рівняння стану ідеального газу Менделєєва-Клапейрона.
8. Фізичне значення газової сталої.
9. Визначення суміші ідеальних газів.
10. Що називається парціальним тиском?
11. Що називається масовою, об'ємною і молярною частками?
12. Як обчислюється теплоємність сумішей ідеальних газів?

Тема 4. Перший закон термодинаміки. Визначення і аналітичний вираз першого закону термодинаміки. Рівняння першого закону термодинаміки для потоку. Загальний метод дослідження термодинамічних процесів.

Методичні вказівки

Студент повинен уяснити суть першого закону термодинаміки, його місце і роль в технічній термодинаміці. Усвідомити, що предметом дослідження першим законом термодинаміки є термодинамічний процес зміни стану робочого тіла [1. (с.

24-26)], [2. (с. 40-43)] [3. (с. 11-18)], [4. (с. 14-15)]

Запитання для самоперевірки

1. Основні визначення першого закону термодинаміки.
2. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки.
3. Визначення термодинамічних процесів зміни стану робочого тіла.
4. Методика дослідження термодинамічних процесів.

4.1. Визначення.
4.2. Умови перебігу.
4.3. Рівняння процесу.
4.4. Графічне зображення процесу в Pv – і Ts – координатах.
4.5. Зміна внутрішньої енергії.
4.6. Зовнішня корисна робота і робота затрачена (підведена) іззовні.
4.7. Зміна ентальпії.
4.8. Зміна теплоти.
4.9. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки стосовного даного процесу.
4.10. Розподіл видів енергій в процесі.

Тема 5. Термодинамічний аналіз ізохорного, ізобарного, ізотермічного , адіабатного і політропного процесів. Другий закон термодинаміки. Основні визначення і аналітичний вираз другого закону термодинаміки. Прямий і обернений цикли Карно.

Методичні вказівки

При вивченні цього матеріалу студент повинен вміти провести термодинамічний аналіз ізохорного, ізобарного, ізотермічного, адіабатного і політропних процесів. Звернути увагу на наступне:

а) термічний ККД циклу Карно завжди менший одиниці, не залежить від робочого тіла і має найбільше значення в порівнянні з ККД будь-яких інших циклів, обмежених тим же інтервалом температур;

б) ніякими новими конструкціями теплових двигунів або застосуванням нових робочих тіл не можна всю підведену в циклі теплоту перетворити в корисну роботу;

в) для збільшення ККД необхідно, щоб цикл складався з таких процесів, при яких середня температура підведеної теплоти була як можна вище, а середня температура відведеної теплоти як можна нижче [1. (с. 44-57)].

Запитання для самоперевірки

1. Назвати і проаналізувати п’ять процесів зміни стану робочого тіла (ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатний, політропний).
2. Який цикл називається прямим і який зворотним?

3. Що називається термічним ККД і холодильним коефіцієнтом?
4. При яких умовах термічний ККД циклу може бути рівний одиниці?
5. Що зображає площа під кривою процесу на Ts-діаграмі?
6. Описати зворотний цикл Карно.
7. Від яких параметрів залежить термічний ККД оборотного циклу Карно?
8. Чи можна отримати термічний ККД циклу теплового двигуна більше, ніж термічний ККД циклу Карно?
9. Описати зворотний цикл Карно.
10. Які машини працюють за зворотним циклом Карно?
11. Що таке ексергія?
12. У чому полягає спільність різних формулювань другого початку термодинаміки?

Тема 6. Реальний газ. Властивості реальних газів. Водяна пара. Термодинамічні таблиці води і водяної пари. $\boldsymbol{P_V}$ –, $\boldsymbol{T_S}$ –, $\boldsymbol{H_S}$ – діаграми водяної пари. Розрахунок термодинамічних процесів водяної пари з допомогою таблиць і $\boldsymbol{H_S}$ – діаграми. Вологе повітря. Визначення поняття "вологе повітря". Основні величини, що характеризують стан вологого повітря. $\boldsymbol{H_d}$ – діаграма вологого повітря. Розрахунок основних процесів вологого повітря в сушарках і сушильних камерах.

Методичні вказівки

Визначення реального газу. Водяна пара – реальний газ і для розрахунків термодинамічних процесів, що відбуваються з реальним газом в елементах теплових машин, потрібно користуватись відповідними аналітичними залежностями, таблицями термодинамічних властивостей води і водяної пари та Hs – діаграмою. При роботі з таблицями термодинамічних властивостей води і водяної пари слід пам'ятати, що одним штрихом (h`, V`, s`) позначаються параметри води на лінії насичення, а двома штрихами (h``, V``, s``) параметри сухої насиченої пари при однакових температурах і тисках. В області вологої насиченої пари її параметри визначаються із відповідних аналітичних залежностей або з допомогою hs – діаграми. Потрібно знати як залежить температура кипіння води від її тиску. [1. (с. 67-74)], [2. (с. 35-68)], [4. (с. 33-45)]. При вивченні даної теми треба засвоїти поняття відносної вологості та вологовмісту, що широко використовується в техніці.

Відносна вологість повітря показує міру насичення водяними парами вологого повітря при даній температурі, виражається в частках або відсотках і не може приймати значення більше одиниці (100%).

Вологовміст повітря визначає масу водяної пари, що знаходиться у вологому повітрі, суха частина якого рівна 1 кг. Вологовміст виражається в грамах на кілограм.

Цілий ряд практичних задач в області кондиціонування повітря, сушки, вентиляції і опалювання вирішується за допомогою Hd-діаграми вологого повітря.

При вивченні теми корисно ознайомитись із [1, с. 74-82].

Запитання для самоперевірки

1. Визначення реального газу.
2. Рівняння станів ідеального газу (Ван-дер-Ваальса, Бертло, Діттерічі).
3. Фазова Pv –діаграма водяної пари.
4. Що таке волога насичена пара, суха перегріта пара, лінія насичення води (нижня погранична крива), лінія насичення пари (верхня погранична крива), критична точка К.
5. Як визначити параметри водяної пари з допомогою hs – діаграми (p, V, t, h, S, X).
6. Визначення степені сухості пари.
7. Що таке теплота пароутворення?
8. Вміти користуватись таблицями термодинамічних властивостей води і водяної пари.
9. Що називається вологим повітрям?
10. Закон Дальтона стосовно вологого повітря.
11. Що навивається абсолютною вологістю повітря?
12. Що називається відносною вологістю повітря?
13. Що називається вологовмістом вологого повітря?
14. У яких межах може змінюватися вологовміст?
15. Що називається температурою „мокрого термометра”?
16. Що називається температурою „точки роси”?
17. Як визначається щільність вологого повітря?
18. Теплоємність сухого і вологого повітря.
19. Як визначається ентальпія вологого повітря?
20. Описати *Hd* - діаграму вологого повітря і процеси які відбуваються з ним у конвективній сушарці.

Тема 7. Термодинаміка потоку. Витікання і дроселювання газів і парів. Основні положення. Рівняння витікання. Швидкість витікання і робота, якою володіє тіло. Критичне відношення тисків. Критичний режим. Сопло Лаваля. Розрахунок процесів витікання водяної пари з

допомогою H_S – діаграми.

Методичні вказівки

Під час вивчення термодинаміки потоку необхідно засвоїти, що це складний процес, який описується системою диференційних, алгебраїчних рівнянь руху, суцільності потоку, першого закону термодинаміки і стану. Для водяної пари ці розрахунки можна здійснювати за допомогою hs – діаграми, а для інших газів аналітично [1. (с. 83-100)], [2. (с. 72-83)].

Запитання для самоперевірки

1. Написати рівняння руху, суцільності, енергії (першого закону термодинаміки) і стану для потоку газу.
2. Які канали називаються соплами і дифузорами?
3. Що таке дроселювання?
4. Які параметри газу (рідини) змінюються під час дроселювання, а які лишаються незмінними?
5. Дати опис комбінованого сопла Лаваля.
6. Що дає застосування сопла Лаваля в елементах машин?

Тема 8. Процеси стиску газів в компресорах. Класифікація компресорів і принцип дії. Індикаторна діаграма. Термодинамічний аналіз процесів в компресорах. Повна робота, затрачена на привід компресора. Багатосхідчастий стиск. Зображення термодинамічних процесів, що відбуваються в компресорах в P_V – і T_S – діаграмах.

Методичні вказівки

Під час вивчення даного матеріалу студент повинен уяснити наступне: фізичний зміст стиску газу в односхідчастому компресорі; причини застосування багатосхідчастих компресорів; доцільність застосування проміжного охолодження робочого тіла і охолодження самих циліндрів компресорів. Уяснити, що реальний процес стиску газів необхідно наближувати до ідеального ізотермічного при конструюванні компресорів [1 (с. 94-100)], [3 (с. 52-53)], [4 (с. 33-45)].

Запитання для самоперевірки

1. Яка машина навивається компресором?
2. Дати опис односхідчастого компресора.
3. Теоретична індикаторна діаграма односхідчастого компресора.
4. Які процеси можливі при стисненні газу у компресорі?
5. Який процес стиснення найвигідніший, а при якому процесі затрачується найбільша роботи іззовні?
6. Якими рівняннями визначається робота на привід компресора при ізотермічному, адіабатному політропному стисненнях робочого тіла?
7. Чим відрізняється дійсна індикаторна діаграма від теоретичної?
8. Дати визначення об'ємного ізотермічного та адіабатного ККД компресора.
9. Як впливає шкідливий простір на процес стиснення газу?
10. Дати опис багатосхідчастого компресора.
11. Особливості теоретичної індикаторної діаграми багатосхідчастого компресора.
12. Що дає багатосхідчасте стиснення в порівнянні з односхідчастим?
13. Визначення роботи на привід багатосхідчастого компресора.

Тема 9. Цикли поршевих ДВЗ. Принцип дії поршневих ДВЗ. Цикли двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) із підводом теплоти при сталому тиску, сталому об'ємі і із змішаним підводом теплоти.

Методичні вказівки

Під час вивчення даного матеріалу студент повинен чітко розрізняти особливості поршневих ДВЗ із різними підводами теплот. Вміти будувати індикаторні діаграми і описувати їх [1 (с. 109-114)], [4 (с. 200-210)]. Під час вивченні Я даного матеріалу студент повинен уяснити мету термодинамічного аналізу циклів поршневих ДВЗ із різними підводами теплоти. Чому термодинамічний аналіз проводиться з допомогою pv- і Ts- діаграм? Розрізняти параметри циклів і параметри робочих тіл. Уявляти методи підвищення термодинамічного ККД циклів [1 (с. 109-114)].

Запитання для самоперевірки

1. Зобразити принципову схему та індикаторну діаграму поршневого ДВЗ
2. з підводом теплоти при V=const (Цикл Отто).
3. Зобразити принципову схему та індикаторну діаграму поршневого ДВЗ
4. з підводом теплоти при P=const (Цикл Дизеля).
5. Зобразити принципову схему та індикаторну діаграму поршневого ДВЗ
6. з підводом теплоти при V=const, P=const (Цикл Трінклера).
7. Зобразіть в pv- і Ts -координатах цикл з підводом теплоти при V=const.
8. Зобразіть в pv- і Ts- координатах цикл з підводом теплоти при P=const.
9. Зобразіть в pv- і Ts- координатах цикл із змішаним підводом теплоти.
10. Що таке ступінь адіабатного стиску, підвищення тиску, попереднього
    i. розширення та адіабатного розширення?

11. Напишіть загальні рівняння термічного ККД, зовнішньої корисної і. роботи та середнього індикаторного тиску.

Тема 10. Цикли газотурбінних установок (ГТУ) і паросилових установок (ПСУ). Принцип дії ГТУ. Цикли ГТУ з ізобарним підводом теплоти. Загальні відомості про цикли реактивних двигунів. Принципова схема ПСУ. Цикл Ренкіна і його термодинамічний аналіз.

Методичні вказівки

Студенту необхідно звернути увагу на особливості переваг ГТУ над поршневими ДВЗ. Розібратись із принципом дії і конструктивними особливостями ГТУ з підводом теплоти при P=const. Мати уяву про цикли реактивних двигунів. Знати принципову схему ПСУ, яка працює за циклом Ренкіна і його зображення у pv- і Ts-координатах [1 (с. 117-131)], [4 (с. 125-133)].

Запитання для самоперевірки

1. Що таке ГТУ? З яких елементів вона складається?
2. Що таке реактивний двигун?
3. Що таке ПСУ? З яких елементів вона складається?
4. Зобразіть цикл ГТУ з підводом теплоти при P=const в pv- і Ts-координатах.

Тема 11. Цикли холодильних машин (ХМ) і теплових насосів (ТН). Принципова схема і термодинамічний аналіз холодильної машини парокомпресійного типу. Робочі тіла. Холодильний коефіцієнт і холодильна потужність. Принципова схема і термодинамічний аналіз ТН. Коефіцієнт перетворення теплоти. Нові способи перетворення енергії. Прямі перетворювачі енергії. Паливні елементи. Термоелектричні генератори. Термоемульсійні перетворювачі магнітогідродинамічні (МГД) генератори.

Методичні вказівки

Потрібно знати призначення, класифікацію ХМ і ТН та принципову відмінність між ними. Засвоїти принципову схему та цикли в pv- і Ts- координатах ХМ і ТН парокомпресійного типу. Необхідно мати уяву про нові способи отримання енергії. [1 (с. 115-117)], [4 (с. 280-280)].

Запитання для самоперевірки

1. Що таке холодильний коефіцієнт?

2. Що таке коефіцієнт перетворення теплоти?
3. Дати опис ХМ парокомпресійного типу.
4. Дати опис ТН парокомпресійного типу.
5. Дати описи ідеальних циклів ХМ і ТН в pv- і Ts- координатах і в чому полягає різниця.
6. Дати визначення термоелектричного та магнітогідродинамічного генераторів.

Змістовий модуль 3. Теорія тепломасообміну**.**

Тема 12. Основні поняття і визначення теорії теплообміну. Передача теплоти теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням. Складний теплообмін. Теплопровідність. Основні поняття і визначення. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності. Механізм передачі теплоти в твердих тілах. Диференційне рівняння теплопровідності. Теплопровідність при стаціонарному режимі. Теплопровідність одношарової і багатошарової плоскої, циліндричної стінок при граничних умовах першого роду.

Методичні вказівки

Матеріал цієї теми є введенням в розділ „Тепломасообмін" (теплопередача) і складається з ряду визначень, які треба засвоїти.

При вивченні теми студенту потрібно звернути увагу на наступне: можливість теплообміну між тілами; способи можливого здійснення теплообміну; роль теплообміну в технологічних процесах.

Потрібно засвоїти механізм передачі теплоти в металах, рідинах і газах. Студент повинен вивести рівняння, що визначає закон розподілу температури по товщині плоскої і циліндричної стінок, а також кількість теплоти, що передається при цьому. Навчитися аналізувати вплив окремих термічних опорів на загальний опір і знати способи їх регулювання.

Крім стаціонарної теплопровідності існує нестаціонарна, що розглядає зміну теплопереносу з часом [1 (с.148-151)], [2 (с.134-145)].

Запитання для самоперевірки

1. Які величини зв'язує між собою рівняння Фур'є?
2. Що називається коефіцієнтом теплопровідності?
3. У яких межах знаходиться значення коефіцієнта теплопровідності для металів, рідин і газів?

4. Як змінюється коефіцієнт теплопровідності із збільшенням температури для металів, рідини, газів?

5. Теплопровідність через одношарову плоску стінку.

6. Теплопровідність через одношарову циліндричну стінку.

7. Теплопровідність через багатошарову плоску стінку.

8. Теплопровідність через багатошарову циліндричну стінку.

9. Графік зміни температури по товщині трьохшарової плоскої стінки.

10. Графік зміни температури по товщині трьохшарової циліндричної стінки.

Тема 13. Конвективний теплообмін. Основні поняття і визначення. Рівняння Ньютона-Ріхмана. Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією α. Диференційне рівняння теплообміну. Основи теорії подібності. Визначаємий і визначаючий критерій. Метод моделювання. Фізичний зміст основних критеріїв подібності. Тепловіддача при русі середовища. Розрахункові рівняння коефіцієнта тепловіддачі основних задач.

Методичні вказівки

Найбільш важкий для використання і розуміння конвективний теплообмін. Для користування рівнянням Ньютона-Ріхмана при обчисленнях значень теплового потоку при умові $Q = \alpha \cdot F \cdot \left(t_{ñò} - t_{ð}\right)$, як правило, невідомим являється коефіцієнт тепловіддачі конвекцією α від стінки з температурою $t_{ñò}$ до середовища з температурою $t_{ð}$. Коефіцієнт тепловіддачі α залежить від ряду параметрів. Отримання числових значень α з експерименту на натурі утруднене. Необхідно провести велику кількість дослідів, щоб з'ясувати вплив α на кожен з діючих чинників, причому буде отримана відповідь для окремого випадку об'єкта, що досліджується. Складність полягає також в тому, що різні величини, від яких залежить α, часто пов'язані між собою. Вихід із становища дає теорія подібності яка передбачає можливість провести досліди не на натурі, а на моделі і отримані при цьому результати розповсюдити на всі подібні явища.

Обробка експериментальних даних в критеріальній формі дозволяє виявити головні чинники, що впливають на величину α, і відкинути другорядні. Звичайно дані дослідів представляють у вигляді степеневої функції $N_u = C \cdot R_e^k \cdot G_r^m \cdot P_r^n$, де C, k, m, n – дослідні коефіцієнти. N_u - критерій Нуссельта ($N_u = \alpha \cdot l / \lambda$), що дозволяє знайти α. R_e, G_r, P_r – критерії, відповідно, Рейнольдса, Грасгофа і Прандтля, що відображають вплив вимушеного руху ($R_e = \omega \cdot l / \nu$), вільного руху ($G_r = \beta \cdot \Delta t \cdot g \cdot l^3 / \nu^2$) і фізичних властивостей рідини ($P_r = \nu / a$) на коефіцієнт

тепловіддачі конвекцією α . Тому студент при вивченні цієї теми повинен відповісти на наступні запитання:

1. За допомогою якої початкової аналітичної залежності знаходяться визначаючі критерії?

2. Якою критеріальною залежністю потрібно скористатися для конкретного випадку розрахунку коефіцієнта тепловіддачі конвекцією? Для цього треба визначити характер руху (ламінарний або турбулентний) і природу його виникнення (вільне або вимушене).

3. Знайти визначаючі розмір і температуру.

4. Визначити, чи знаходяться параметри задачі в інтервалі значень критеріїв, для яких справедлива вибрана формула? [1(с.196-204)], [2 (с.151-164)], [3 (с.77-80)], [4 (с.94-100)].

Запитання для самоперевірки

1. Що називається конвективним теплообміном (тепловіддача)?
2. Рівняння Ньютона-Ріхмана.
3. Які розрізнюють види конвекції?
4. Динамічний і тепловий пограничні шари і їх фізичне значення.
5. Які зустрічаються види руху рідини? Їх відмінність.
6. Який механізм передачі теплоти при ламінарному і турбулентному русі рідини?
7. Які чинники впливають на конвективний теплообмін?
8. Визначення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією.
9. Функцією яких величин є коефіцієнт тепловіддачі конвекцією?
10. Чому для визначення коефіцієнту тепловіддачі конвекцією застосовуємо теорію подібності?
11. Які рівняння подібності рекомендуються при розрахунку тепловіддачі при ламінарному русі рідини?
12. Які рівняння подібності рекомендуються при розрахунку тепловіддачі при турбулентному русі рідини?

Тема 14. Теплообмін випромінюванням. Загальні поняття і визначення. Закони теплового випромінювання Планка, Стефана-Больцмана, Кірхгофа. Теплообмін випромінюванням між тілами. Теплопередача. Теплопередача через плоску і циліндричну багатошарові стінки. Коефіцієнт теплопередачі К. Коефіцієнт термічного опору R. Основи теплового розрахунку теплообмінних апаратів. Класифікація, призначення і схеми теплообмінних апаратів. Конструкторський і перевірочний теплові

розрахунки теплообмінників. Середній температурний напір.

Методичні вказівки

Студенту необхідно звернути увагу на фізичний зміст теплообміну випромінюванням. Засвоїти загальні поняття. Розуміти визначення поглинаючої, відбиваючої і пропускаючої здатності тіл. Уяснити, що на основі законів теплового випромінювання розраховуються прикладні задачі теплообміну випромінюванням між тілами. Уявити поняття та фізичний зміст теплопередачі. Розрізняти особливості теплопередачі через просту та циліндричну стіни. [1 (с.229-241)], [2 (с.174-180)], [1 (с.182)], [3 (с.97-103)]. Студенту потрібно звернути увагу на способи змін інтенсивності теплообміну в теплообмінних апаратах, уміти аналізувати вплив різних чинників на коефіцієнт теплопередачі. Засвоїти методику розрахунку найпростіших теплообмінних апаратів, наприклад типу „труба в трубі" при прямо – і проточній схемах руху теплоносіїв, а також уміти вибрати, (розрахувати) повітронагрівальний теплообмінник [1 (с.241-247)], [2 (с.184-189)].

Запитання для самоперевірки

1. Що називається теплообміном випромінювання.
2. Дати визначення та записати рівняння закону Планка.
3. Дати визначення та записати рівняння закону Стефана – Больцмана.
4. Дати визначення та записати рівняння закону Кіргофа.
5. Привести рівняння, за яким розраховується теплообмін випромінювання між двома тілами, коли площа поверхні випромінюючого тіла значно менша, ніж поглинаючого, та випромінююче знаходиться в середині поглинаючого.
6. Що називається теплопередачею?
7. Описати передачу теплоти через стінку.
8. Що називається коефіцієнтом теплопередачі?
9. Як виводиться основне рівняння теплопередачі?
10. Передача теплоти через багатошарову плоску стінку і коефіцієнт теплопередачі для неї.
11. Як визначаються температури поверхонь стінки?
12. Передача теплоти, через одношарову циліндричну стінку.
13. Тепловий потік і коефіцієнт теплопередачі через багатошарову циліндричну стінку.
14. Що називається критичною товщиною ізоляції?
15. Які потрібні умови для ізоляції, щоб зменшувались втрати теплоти?
16. У яких випадках і за рахунок чого можна інтенсифікувати теплопередачу?
17. Яке існує загальне правило для інтенсифікації теплопередачі?
18. Назвіть типи та різновидності теплообмінників.
19. Що таке конструкторський тепловий розрахунок теплообмінників, а що таке перевірочний?

20. Запишіть рівняння теплових балансів для гарячого та холодного теплоносіїв теплообмінника.

21. Запишіть рівняння теплопередачі через теплопередаючу поверхню теплообмінника від гарячого до холодного теплоносія.

22. Як підраховується середньоарифметичний та середньологарифмічний температурні напори?

23. У чому переваги теплообмінного апарату типу „труба в трубі", працюючого в режимі протитоку в порівнянні з апаратом працюючого в режимі прямотоку?

.Змістовий модуль 4. Промислова теплотехніка

Тема 15. Промислова теплотехніка. Види органічних палив та їх характеристики. Класифікація палив. Елементарний склад палив. Теплота згоряння. Коефіцієнт надлишку повітря. Основи енерготехнології, вторинні енергетичні ресурси і захист оточуючого середовища від шкідливих викидів продуктів згоряння палива.

Методичні вказівки.

Студенту необхідно знати види органічних палив та їх характеристики. Вміти записувати елементарні склади органічних палив, їх горючої та органічної частин. Володіти знаннями з основ горіння палив і конструкцій топок теплових машин. Освоїти визначення енерготехнології, вторинних енергетичних ресурсів. Вміти передбачувати і зменшувати вплив шкідливих викидів при проектуванні та експлуатації теплових машин [2 (с.190-199)], [3 (с.118-126)].

Запитання для самоперевірки

1. Дайте визначення органічних палив та їх класифікацію.
2. Напишіть рівняння елементарного складу органічного палива, його горючої та органічної частин.
3. Що таке коефіцієнт надлишку повітря?
4. Дайте визначення вищої і нижчої теплот згоряння палива.

3. ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. Основні теплотехнічні вимірювальні величини.
2. Залежність температури кипіння рідини від тиску.
3. Визначення показника адіабати К=Ср/Cv методом Клімана і Дезорма.
4. Дослідження процесу адіабатного витікання повітря через сопло, що звужується.
5. Дослідження процесів у вологому повітрі.

6. Дослідження індикаторної діаграми компресора.

7. Термодинамічний аналіз перетворення теплоти в роботу у двигуні внутрішнього згорання

8. Дослідження роботи відцентрового вентилятора

9. Знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від горизонтальної труби до вільно омиваючого повітря

10. Знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від вертикальної труби до вільно омиваючого повітря

11. Тепловіддача при вимушеному русі повітря в трубі

12. Визначення теплопровідності матеріалів методом пластини.

4. НАУКОВА РОБОТА СТУДЕНТІВ

Наукова робота студентів – невід'ємна частина учбового процесу у вузі, сприяюча формуванню творчих навичок і науковому підходу при рішенні різних виробничих задач.

Науково-дослідну роботу (НДР) студент може виконувати як на кафедрі, так і по місцю робіт. При вирішенні певних конкретних задач студенту можуть надати допомогу викладачі кафедр вузу або фахівці галузевого НДІ.

Результати НДР можуть бути використані студентом для доповіді на науково-технічних конференціях, участі в конкурсах, публікацій статей, складанні заявок на передбачувані винаходи, при виконанні курсового і дипломного проектування.

Як тематику для науково-дослідних робіт стосовно дисципліни теоретичні основи теплотехніки можна запропонувати наступні теми:

1. Дослідження і розробка конструкції апарату, що володіє більш високими теплотехнічними характеристиками.
2. Дослідження і розробка конструкції апарату, що дозволяє використати теплоту вентиляційних викидів приміщень.
3. Розробка способів інтенсифікації теплообміну в якому-небудь теплообмінному апараті.
4. Розробка способів зниження теплових втрат для конкретних конструкцій.
5. Дослідження теплового балансу конкретного апарату, агрегату і т.д.
6. Дослідження теплофізичних характеристик нового матеріалу, наприклад, тепло - або температуропроводності як функції температури, тиску або вологості.
7. Дослідження і розробка конструкції апарату для утилізації теплоти.
8. Дослідження і розробка конструкції апарату для утилізації теплоти вентиляційного повітря.
9. Дослідження і розробка конструкції апарату для утилізації теплоти димових газів котельної.
10. Дослідження і розробка конструкції пристрою для використання сонячної енергії, наприклад, для нагріву води.
11. Дослідження і розробка конструкції пристрою для запобігання повітронагрівальних установок від замерзання.
12. Дослідження і розробка конструкції пристрою по утилізації теплоти використаної води.
13. Дослідження і розробка конструкції апарату по використанню теплоти конденсації робочого тіла стаціонарних холодильних установок.
14. Дослідження і розробка конструкції апарату для обігріву двигуна внутрішнього згоряння в режимі холостого ходу в холодний період року з метою економії палива.
15. Дослідження навантажувальних або швидкісних характеристик ДВЗ в нових умовах, наприклад, раніше невідомому інтервалі зовнішніх температур.

Тему для наукової роботи доцільно вибирати виходячи з потреб підприємств.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЇХ ВИКОНАННЯ

5.1. Загальні вказівки

До виконання контрольного завдання потрібно приступати після вивчення відповідного розділу дисципліни. Перед виконанням контрольної роботи рекомендується ознайомитися з ходом рішення аналогічних задач по учбовій літературі.

Під час її виконанні необхідно дотримуватись наступних вимог:

– виписувати умову задачі і початкові дані;

– рішення задачі супроводити коротким пояснювальним текстом, в якому вказувати, яка величина визначається і по якій формулі, які значення одиниць вимірювання підставляються в формулу і звідки вони взяті (з умови задачі, з довідникової літератури або були визначені раніше і т.д.):

– обчислення провести в одиницях СІ, показувати хід рішення;

– значення одиниць вимірювання вказувати для всіх проміжних і кінцевих розрахункових даних;

– графіки виконувати на міліметрівці у вибраному масштабі;

– після рішення задачі зробити короткий аналіз отриманих результатів;

в кінці роботи навести список використаної літератури і поставити свій підпис;

– для письмових зауважень залишати чисті поля і чисті (1-2) сторінки в кінці роботи;

– виправлення по зауваженнях рецензента повинні бути записані окремо на чистих листах після заголовка „Виправлення по зауваженнях”.

1.2. Завдання на контрольну роботу і вибір варіанта

За дисципліни „Теоретичні основи теплотехніки” пропонується одна контрольна робота, що складається з чотирьох задач, які включають в себе матеріал з різних розділів. При цьому пропонується три варіанти задачі № 3 на тему „Теплопередача і теплообмінні апарати”. Передбачається, що на настановчій сесії викладач укаже, який з цих трьох варіантів потрібно студенту вибрати залежно від спеціалізації.

Контрольні задачі складені за стоваріантною системою, в якій до кожної задачі початкові дані вибираються з відповідних таблиць.

Варіант вибирають таким чином. Остання цифра номера залікової книжки студента означає значення першої частини початкових даних, а передостання цифра цього номера - інші дані, необхідні для рішення задачі.

Варіант роботи повинен відповідати шифру студента. Роботи, виконані не по своєму варіанту, не розглядаються.

5.3. Умови задач і методичні вказівки по їх виконанню

Умова задачі №1

Визначити тиск p_i, температуру t_i і об'єм робочого тіла V_i в характерних точках теоретичного циклу поршневого ДВЗ зі змішаним підводом теплоти. Розрахувати кількість підведеної, відведеної і корисно використаної теплоти. Обчислити роботу циклу, а також ККД теоретичного циклу і циклу Карно, середній індикаторний тиск, побудувати за даними розрахунку (p_i, t_i, V_i) теоретичний цикл в pV- і Ts-координатах. Значення початкового тиску робочого тіла прийняти p_1=0,1МПа. Дані про значення молекулярної маси, і газових постійних для різних газів приведені в додатку 1. Початкові дані для рішення задачі вибрати з табл. 1.

Таблиця 1

Остання цифра шифру	Робоче тіло	Початковий об'єм газу V,·10^{-3} м^3	Початкова температура газу, $t_{ä}$ 0C	Передостання цифра шифру	Ступінь стиску ε	Ступінь підвищення тиску λ	Ступінь попереднього розширення ρ
0	Гелій	1,0	-64	0	11	1,75	1,1
1	Водень	1,3	+40	1	12	1,65	1,5
2	Фреон-11	1,5	-53	2	12	1,60	1,15
3	Фреон-12	1,7	+30	3	14	1,55	1,45
4	Фреон-13	1,9	-41	4	15	1,50	1,20
5	Фреон-22	2,1	+23	5	17	1,45	1,40
6	Фреон-113	2,3	-33	6	18	1,40	1,25
7	Фреон142	2,5	+10	7	19	1,35	1,35
8	Фреон-13BI	2,7	-20	8	20	1,30	1,20
9	Етилен	2,9	0	9	21	1,25	1,30

Методичні вказівки

Перш ніж приступити до рішення задачі, потрібно вивчити теми: „Основні поняття", „Перший закон термодинаміки", „Газові суміші", „Другий закон термодинаміки", початкову частину теми „Основні цикли теплоенергетичних установок", розглянути зміст тем „Двигуни внутрішнього згоряння як привід гірських і транспортних машин сучасного гірського виробництва" і „Робочі цикли і

теоретичні індикаторні діаграми бензинових і дизельних поршневих ДВЗ". Ретельно розібратися в термінології: „стан", „процес", „цикл". Доцільно проробити теми: „Основні процеси ідеальних газів" і „Теоретичні цикли ДВЗ" [1, с. 109-114].

Умова задачі №2. Водяна пара з початковими параметрами p_1=5МПа і степінню сухості $x_1 = 0,95$ поступає в пароперегрівач, де її температура підвищується на Δt 0С. Після пароперегрівача пара ізоентропно розширяється в турбіні до тиску р2. Визначити по H_s діаграмі водяної пари (діаграма приведена в прил.): параметри стану водяної пари в характерних точках; кількість теплоти, підведеної до 1 кг пари в пароперегрівачі; роботу циклу Ренина; обчислити термічний ККД циклу; роботу циклу. Провести аналогічні обчислення, якщо після пароперегрівача пара дроселюється до тиску p_i . Дані, необхідні для розв'язку задачі, вибрати з табл. 2.

Під час виконання завдання також слід:

1) відповісти на запитання, в якому стані знаходиться пара в точках 1 (p_1=5МПа, $x_1 = 0,95$) і 2 (p1=5МПа, $t = t_H + \Delta t$), де Δt – задане в умові задачі підвищення температури пари, а t_H – температура насичення при тиску p_1;

2) побудувати на копії з hs-діаграми водяної пари процеси зміни стану параметрів пари згідно з умовами задачі. При цьому потрібно наносити тільки ті лінії, які характеризуються значеннями розрахункових точок.

Таблиця 2

Остання цифра шифру	Δt , ^{0}C	Передостання цифра шифру	p_2, кПа	$p_i^{`}$, МПа
0	275	0	2,5	0,5
1	265	1	3,0	0,49
2	255	2	3,5	0,48
3	245	3	4,0	0,47
4	235	4	4,5	0,46
5	215	5	4,0	0,45
6	205	6	4,5	0,60
7	195	7	4,0	0,61
8	185	8	4,5	0,62
9	165	9	4,0	0,63

Методичні вказівки

Перш ніж виконувати завдання, потрібно вивчити матеріал „Термодинаміка водяної пари", „Термодинаміки потоку" і розділ „Основні цикли теплоенергетичних установок". [1, 67-83, 91-94].

Умова задачі №3

Визначити площу поверхні нагріву рекуперативного поверхневого газоповітряного теплообмінника при прямо- і протиточній схемах руху теплоносіїв, якщо об'ємна витрата повітря, що нагрівається при нормальних умовах V_H, середній коефіцієнт теплопередачі від продуктів згоряння до повітря K, початкові і кінцеві температури продуктів згоряння і повітря відповідно t_1', t_1'', t_2', t_2'' взяти з табл. 3.

Крім знаходження числових значень шуканих даних, в задачі потрібно детально пояснити, як передається теплота від одного теплоносія до іншого (від газу до повітря), зобразити (із зразковим дотриманням масштабу) графік зміни температури по довжині теплообмінника, а також дати пояснення, що називається коефіцієнтом теплопередачі і від яких чинників він залежить. Потрібно також зобразити графік зміни температур теплоносіїв для прямо- і протиточної схем рухів газу і повітря.

Таблиця 3

Остання цифра шифру	V_H, м^3/с	K, Вт/(м2·К)	Перед-остання цифра шифру	Значення температури, 0С			
				t_1'	t_1''	t_2'	t_2''
0	0,28	15	0	510	300	60	200
1	0,55	17	1	530	310	40	210
2	0,83	19	2	550	320	30	230
3	1,11	21	3	570	330	20	310
4	1,39	23	4	590	400	10	300
5	1,67	24	5	610	410	0	350
6	1,94	25	6	630	420	10	290
7	2,22	26	7	650	430	15	275
8	2,50	27	8	670	440	20	240
9	2,78	28	9	690	470	25	290

Методичні вказівки

Перш ніж приступити до розв'язку задачі потрібно вивчити матеріал „Основи теплопередачі", „Теплопровідність", „Теплопередача" Фізичні властивості сухого повітря - в додатку 2". [1, 241-248].

Умова задачі № 3б

Визначити площу поверхні водяного теплообмінника типу „труба в трубі”, працюючого по прямо- і протиточній схемах (вирішити послідовно), якщо гріюча вода поступає з температурою t_1' і витратою $m_1 = 1{,}1$ кг/с, рухається по кільцевому каналу між трубами діаметрами d_3 з d_2 (мм), а та що нагрівається по центральній трубі з внутрішнім діаметром d_1 і нагрівається від температури t_2' до температури t_2''. Витрата води, що нагрівається m_2.

Таблиця 4

Остання цифра шифру	d_1 / d_2, мм	t_1', 0С	Матеріал стінки труби	Передостанн-я цифра шифру	d_3, мм	t_2', 0С	t_2'', 0С	m_2, кг/с
0	45/40	100	Сталь 20	0	60	15	60	1,3
1	43/49	110	Скло звичайне	1	58	13	61	1,5
2	47/41	120	Алюміній	2	62	11	62	1,7
3	49/44	100	Мідь	3	64	5	60	1,8
4	51/47	140	Латунь	4	66	20	65	1,9
5	53/49	150	Цинк	5	68	18	64	2,1
6	54/46	160	Гума тверда	6	68	12	63	2,3
7	55/45	170	Чавун	7	68	18	62	2,4
8	56/54	180	Сталь 12ХІВ НІОТ	8	70	4	61	2,5
9	57/51	190	Сталь 45	9	72	0	60	2,7

Дані про значення фізичних властивостей деяких матеріалів наведені в додатку. 3, а дані про щільність води при температурі 1...210 ^{0}С – в додатку. 4.

Необхідні для рішення задачі початкові дані прийняти з табл. 4.

При виконанні завдання також необхідно:

1) побудувати графіки зміни температури теплоносіїв по довжині теплообмінника для схем прямо- і протитоку;

2) пояснити переваги теплообмінників, працюючих по схемі протитоку в порівнянні з прямоточною схемою;

3) зобразити графіки $t = f(l)$ для випадку $m_2' = 2 \cdot m_2$ і $m_2' = 3 \cdot m_2$, де l – довжина теплообмінника.

Методичні вказівки

Перш ніж вирішувати задачу 3б, потрібно вивчити теоретичний матеріал: „Способи передачі теплоти", „Теплопровідність", „Конвекція", „Теплопередача" [1, с. 148-151].

Умова задачі № 3в

Підібрати калориферну установку з біметалічних калориферів КСкЗ або КСк4 для нагрівання повітря при наступних умовах: температура нагрітого повітря; теплоносій перегріта вода з початковою температурою і кінцевою. Початкові дані, необхідні для рішення задачі наведені в табл. 5.

Крім того, необхідно відповісти на наступні запитання:
1. Що називають калориферною установкою?
2. До якого типу теплообмінних апаратів відносяться калорифери?
3. Перерахувати технічні характеристики калорифера.

Таблиця 5

Остання цифра шифру	V, $м^3/с$	$t_{\text{а}}$, 0С	Передостання цифра шифру	Назва пункту	t_r, 0С	t_0, 0С
0	444	2	0		95	70
1	30	65	1		105	50
2	353	5	2		110	60
3	45	60	3		100	68
4	271	3	4		125	66
5	49	18	5		105	45
6	77	20	6		115	40
7	200	5	7		140	70
8	100	10	8		160	60
9	500	2	9		170	50

Методичні вказівки.

Перш ніж приступити до рішення задачі потрібно проробити теоретичний матеріал: „Способи передачі теплоти"; „Теплопровідність"; „Конвекція"; „Теплопередача".

Вибір значень розрахункової температури зовнішнього повітря для калориферних установок вугільних шахт треба приймати не по параметру А, як це

рекомендується, СНіП 11-33-75, „Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря”. (М.: Стройиздат, 1982. з. 19), а по параметру В для заданого населеного пункту. У додатку 5 приведені запозичені з СНіП 2.01.01-82 „Строительная климатология и геофизика” значення параметрів зовнішнього повітря для холодного періоду року для деяких вугільних басейнів країни.

Технічні характеристики біметалічних спірально-накатних калориферів типу КСк приведені в дод. 6.

Для успішного виконання завдання потрібно вивчити (Проектування промислової вентиляції: Довідник /Торговников Е.М., Табачник В.Е., Ефанов Е.М. - Киев: Строитель, 1983. с.167-174) або Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. М.: Надра, 1975).

Умова задачі № 4

Визначити індикаторну N_i і ефективну N_e потужності чотирьохтактного двигуна внутрішнього згоряння по його конструктивних параметрах і середньому індикаторному тиску. Крім того, по обчисленому значенню ефективної потужності N_e і усередненим питомим ефективним витратам палива для бензинових і дизельних поршневих ДВЗ b (дод. 6), визначити годинну витрату палива, а також розрахувати річну економію палива від заміни бензинового двигуна на дизельний, прийнявши число часів роботи в рік 2400.

Діаметр циліндра двигуна D, хід поршня S, число обертів колінчастого вала п, число циліндрів z, середній індикаторний тиск p_i, механічний ККД η_i дані в табл.6.

Таблиця 6

Остання цифра шифру	D, мм	S, мм	n, об/хв.	η_i	Передостан-я цифра шифру	z, шт.	p_i
0	130	115	2100	0,85	0	6	800
1	125	110	2100	0,84	1	4	810
2	120	105	2200	0,82	2	2	820
3	115	100	2500	0,80	3	4	830
4	110	95	2700	0,79	4	6	780
5	100	90	2900	0,78	5	6	800
6	90	85	4000	0,77	6	8	830
7	85	80	4500	0,76	7	6	850
8	80	75	5000	0,75	8	8	860
9	75	70	5500	0,74	9	8	880

Методичні вказівки

Перед початком виконання завдання потрібно проробити теоретичний матеріал „Режим роботи і основні показники ефективності роботи ДВЗ”, Виконанню задачі допоможе знайомство з прикладами 5.1 і 5.2 [7].

Умова задачі № 5 Газова суміш масою М, задана об'ємним складом і початковими параметрами об'ємом і температурою V1 і t1, змінює свій стан в рівноважному процесі до температури t2. Визначити уявну (середню) масу кіломоля і питому газову постійну суміші, параметри суміші в кінцевому стані, зміну внутрішньої енергії, теплоту і роботу розширення в процесі 1-2. Процес зобразити в PV і TS координатах.

Початкові дані наведені в табл.7.

Таблиця 7

Остання цифра шифру	М кг.	V_1 $м^3$	t_1 ^0C	Процес	Остання цифра шифру	t_2 ^0C	Об’ємний склад сумішей					
							N_2	O_2	CO_2	H_2O	CO	H_2
0	25	20	10	Ізобарний	0	200	70	20	-	-	-	10
1	30	28	20	Ізобарний	1	250	-	50	20	30	-	-
2	32	35	30	Ізобарний	2	300	-	-	-	50	20	30
3	35	32	40	Ізобарний	3	350	50	-	10	-	40	-
4	40	37	50	Ізобарний	4	400	-	40	-	20	-	40
5	45	40	60	Ізотерміч-ний	5	450	40	30	-	30	-	-
6	48	38	70	Ізобарний	6	500	-	-	60	20	20	-
7	42	33	80	Ізобарний	7	550	30	30	40	-	-	-
8	38	25	90	Адіабатний	8	600	-	10	-	40	-	50
9	28	21	100	Ізобарний	9	650	-	-	30	-	30	40

Вказівки. 1. Задачу вирішувати з урахуванням нелінійної залежності теплоємності газів від температури.

2. Вважати, що тиск в ізотермічному процесі збільшується у три рази.

Умова задачі № 6 Водяна пара з тиском P1 = 6,0 МПа і ступінню сухості X1=0,95 ізобарно нагрівається в пароперегрівачі до температури t2. Пройшовши через регулюючі органи і трубопровід, пара дроселюється до тиску P3 і поступає в парову турбіну. Тиск в конденсаторі P4= 5 кПа

Користуючись діаграмою ентальпія - ентропія, визначити кількість теплоти, підведеної до пари в пароперегрівачі, кінцеву температуру пари після дроселювання t3, термічний ККД циклу Ренкіна паросилової установки.

Знайти кінцеве значення ступені сухості пари на вході в конденсатор Х4, густину і внутрішню енергію пари в точці 4.

Всі процеси, в яких бере участь пара, зобразити на схемі HS -діаграми.

Дані для розв'язку задачі вибрати з табл. 8.

Таблиця 8

Остання цифра шифру	t_2 ^0C	Передостання цифра шифру	P_3	Остання цифра шифру	t_2 ^0C	Передостання цифра шифру	P_3
0	520	0	3,8	5	420	5	4,8
1	500	1	4,0	6	400	6	5,0
2	480	2	4,2	7	380	7	5,2
3	460	3	4,4	8	360	8	5,4
4	440	4	4,6	9	340	9	5,6

Умова задачі № 7 Всередині стальних труб пароводяного випарника діаметром $d_н / d_{вн} = 33/30$ мм. тече вода з швидкістю w, що має середню температуру $t_ä$. Коефіцієнт теплопровідності металу $\lambda = 40\ Bm/(м \cdot K)$. Визначити коефіцієнт, тепловіддачі конвекцією від стінки труби до води в середині її (середня температура її внутрішньої поверхні рівна tст), густину теплового потоку.

Знайти коефіцієнт теплопередачі і коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від водяної пари, якщо абсолютний тиск насиченої пари в гріючій камері теплообмінника 270 кПа.

Дані, необхідні для рішення задачі, вибрати з табл. 9.

Фізичні властивості води при різних температурах наведені в додатку 10.

Таблиця 9.

Остання цифра шифру	t_2 ^0C	t_2 ^0C	Остання цифра шифру	t_2 ^0C
0	20	75	0	0,5
1	30	80	1	0,6
2	40	85	2	0,7
3	50	90	3	0,8
4	60	95	4	0,9
5	70	100	5	1,0
6	80	105	6	1,1
7	90	110	7	1,2
8	100	115	8	1,3
9	110	120	9	1,4

Умова задачі № 8 Визначити площу поверхні нагріву рекуперативного газорідинного трубчастого теплообмінника при прямоточному і протиточному рухах теплоносіїв і масові витрати димових газів в одиницю часу.

Теплообмінник виготовлений із стальних труб із зовнішнім діаметром $d_i = 38$мм, і товщиною стінки $\delta = 3$мм. Коефіцієнт теплопровідності сталі прийняти рівним 45 Вт/(м·К).

Витрату води М, початкові t_r' і кінцеві t_r'' температури димових газів і води (відповідно, $t_â'$ і $t_â''$), коефіцієнти тепловіддачі конвекцією від газів до зовнішньої поверхні труб α_1 і від внутрішньої поверхні труб до води α_2 вибрати з табл 10.

Зобразити для обох схем теплообмінників графіки зміни температур теплоносіїв вздовж поверхні теплообміну. Указати переваги протиточної схеми теплообмінника в порівнянні з прямоточною.

Таблиця 10

Остання цифра шифру	M, кг/с	t_r', ^{0}C	t_r'', ^{0}C	$t_â'$, ^{0}C	$t_â''$, ^{0}C	Передостання цифра шифру	α_1, Вт/(м^2·К)	α_2, Вт/(м^2·К)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,3	300	215	100	150	0	40	4000
1	0,4	330	230	100	160	1	44	4200
2	0,5	350	245	100	170	2	48	4400
3	0,6	390	250	100	180	3	52	4600
4	0,7	420	275	100	190	4	56	4800
5	0,8	450	290	140	200	5	60	5000
6	0,9	480	305	140	210	6	64	5200
7	1,0	510	320	140	220	7	68	5400
8	1,1	540	335	140	240	8	72	5600
9	1,2	570	350	140	240	9	76	5800

Умова задачі № 9. По заданому паливу і паропродуктивності котельного агрегату D визначити:

1) склад робочої маси палива і його нижчу теплоту згоряння;

2) спосіб спалення палива, тип топочного пристрою і його характеристики (α_T'', q_3, q_4);

3) теоретичний і дійсний об'єми повітря, необхідні для спалення 1 кг (1 м3) палива при α_T;

4) об'єми продуктів згоряння 1 кг (1 м3) палива при $\alpha = 1$ і при $\alpha_{ух}$ $\left(V_{RO_2}, V_{N_2}, V^o_{H_2O}, V_{H_2O}, V^o_r, V_r\right)$;

5) ентальпію продуктів згоряння 1 кг (1 м3) палива при температурі вихідних газів і підсмоктуванні холодного повітря по всьому газовому тракту котлоагрегату

Початкові дані, необхідні для рішення задачі, вибрати з табл. 11

Таблиця 11

Передостання цифра шифру	D, т/год	Остання цифра шифру	Вид палива	Мар-ка па-лива	A^c, %	W_p, %	$t_{ух}$, 0C	$\Delta\alpha_{ê.à.}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2,5	0	Донецьке кам'яне Вугілля	ДР	14,5	17	200	0,45
1	4	1	Природний газ Угерського родовища	–	–	–	190	0,45
2	6,5	2	Підмосковський буре вугілля	Б2Р	32	34	180	0,40
3	10,0	3	Мазут мало сірчаний	М-40	0,2	2,5	170	0,40
4	15,0	4	Донецький антрацит	АР	15	7,0	160	0,35
5	20,0	5	Природний газ Шебелинського родовища	–	–	–	150	0,35
6	25,0	6	Челябінський буре вугілля	Б3Р	33	18	140	0,30
7	35,0	7	Мазут високо сірчаний	М-60	0,3	2,7	140	0,30
8	50,0	8	Донецьке кам'яне вугілля	ТР	18	6,0	130	0,25
9	75,0	9	Природний газ Радченковського родовища	–	–	–	130	0,25

Вказівка 1. Склад робочої суміші твердого і рідкого палив і їх нижчу теплоту згоряння визначити шляхом перерахунку з паливної маси цих палив (додаток 12).

Визначити зольність робочої маси палива A^p при заданих A^c з W^p, %:

$$A^p = A_c \cdot \frac{100 - W_p}{100},$$

а потім коефіцієнт перерахунку елементарного складу палива з горючої маси на робочу:

$$K = \frac{100 - \left(A^p + W^p\right)}{100}.$$

Цей коефіцієнт використовується також і при визначенні нижчої теплоти згоряння робочої маси палива:

$$C^p = C^r \cdot K, \%;\ H^p = H^r \cdot K, \%$$ і т.д.

Елементарний склад газоподібних палив і теплоти їх згоряння виписують з додатку 13 і в тому ж вигляді використовують в подальших розрахунках.

2. Коефіцієнт надлишку повітря перед топкою

$$\alpha_T' = \alpha_T'' - \Delta\alpha_T,$$

де α_T'' – коефіцієнт надлишку повітря на виході із топки, який визначається як характеристика топки по додатку 14, 15, відповідно для шарових і камерних топок; $\Delta\alpha_T$ – підсмоктування повітря в топці через нещільності обмуровки і гарнітури топки; $\Delta\alpha$ – приймається:

для шарових топок 0,1;

для пилевугільних топок 0,07;

для газомазутних топок 0,05.

Коефіцієнт надлишку повітря на виході котлоагрегату

$$\alpha_{ух} = \alpha_T'' + \Delta\alpha_{к.а.}$$

<u>Умова задачі № 10</u>

Стосовно до умов попередньої задачі визначити:

1) складові теплового балансу котельного агрегату у відсотках і в кілоджоулях на кілограм (в кілоджоулях на кубічний метр);

2) ККД брутто котельного агрегату;

3) годинна витрата натурального і умовного палива;

4) випарна здатність натурального і умовного палива.

Безперервне продування котлоагрегату прийняти 3%. Абсолютний тиск пари в котлі $P_і$, температури перегрітої пари $t_{і.п.}$, живильної води $t_{і.в.}$ вибрати із табл. 12.

Таблиця 12

Остання цифра шифру	$P_п$ МПа	$t_{п.п}$ ^0C	$t_{п.в}$ ^0C	Остання цифра шифру	$P_п$ МПа	$t_{п.п}$ ^0C	$t_{п.в}$ ^0C
0	1,4	250	80	5	2,4	350	120
1	1,4	260	90	6	2,4	400	130
2	1,8	270	100	7	4,0	420	130
3	1,8	280	110	8	4,0	430	140
4	1,5	300	120	9	4,0	440	140

Вказівка 1. При складанні теплового балансу котельного агрегату втрати із вихідними газами визначити по формулі, %

$$q_2 = \frac{I_{VX} - I_{âîç}}{Q_H^P}(100 - q_4),$$

де $I_{âèõ}$ – ентальпія вихідних газів при температурі $t_{âèõ}$ і коефіцієнті надлишку повітря $\alpha_{âèõ}$ (визначений в попередньому завданні); $I_{ïîâ}$ – ентальпія повітря, що поступає в котельний агрегат при температурі 30 0С і коефіцієнті надлишку повітря $\alpha_{âèõ}$.

2. Втрати теплоти від зовнішнього охолодження котлоагрегату q5 прийняти з додатку 16 залежно від паропродуктивності котла D, т/ч.

3. Втратами теплоти зі шлаком q6 знехтувати.

4. Після рішення задачі детально відповісти на контрольне запитання: як залежать втрати теплоти для газів, що виходять q2 від температури цих газів і коефіцієнту надлишку повітря $\alpha_{âèõ}$?

Умова задачі № 11

Для парової конденсаційної турбіни визначити питому витрату пари d, витрату води через конденсатор υ (кг/год), а також кратність охолодження, якщо відомі початковий тиск ρ1 і температура t1 пари. Тиск в конденсаторі ρ2= 10 кПа, відносний внутрішній ККД турбіни ηоі=0,8, потужність турбіни N, початкова температура циркуляційної води tН. Температуру води, що виходить з конденсатора прийняти на 8К нижче від температури насичення при тисковi в конденсаторі. Дані для рішення задачі вибрати з таблиці 13.

Крім того, зобразити схему паросилової установки і дати її короткий опис.

Відповісти на запитання: як слід змінити витрати охолоджуючої води (кратність охолодження), якщо початкова температура води підвищиться до 200 С?

Таблиця 13

Остання цифра шифру	ρ_1, МПа	t_1, 0С	Передостання цифра шифру	N, МВт	t_H, 0С
0	3,0	360	0	2	8
1	3,2	370	1	3	9
2	3,4	380	2	4	10
3	3,6	390	3	5	11
4	3,8	400	4	6	12
5	4,0	410	5	7	13
6	4,2	420	6	8	14
7	4,4	430	7	9	15
8	4,6	440	8	10	16
9	4,8	450	9	11	17

Умова задачі № 12

Визначити індикаторну і ефективну потужності чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння, ефективний ККД двигуна, ефективну годинну і питому витрату пального, якщо нижча теплота згоряння пального $Q_H^P = 40$ *Ì äæ /êã*.

Діаметр циліндра D, частота обертання n, хв-1, кількість циліндрів z, відношення ходу поршня до діаметра циліндра S/D, середній індикаторний тиск ρі, індикаторний ηі і механічний ηм ККД, необхідні для розв'язку задачі, вибрати з табл. 14.

Таблиця 14

Остання цифра шифру	D, мм	n, хв.-1	S/D	Передостання цифра шифру	ρі, бар	Z	η_i	$\eta_м$
0	80	2500	0,95	0	6,2	2	0,25	0,78
1	82	2200	1,1	1	6,5	4	0,28	0,85
2	85	2000	1,05	2	6,8	6	0,3	0,8
3	88	2400	1,15	3	7,0	8	0,32	0,79
4	90	2600	1,2	4	7,2	2	0,34	0,82
5	92	2800	0,9	5	7,5	4	0,36	0,87
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	95	3000	1,08	6	7,8	6	0,33	0,84
7	98	3200	1,12	7	8,0	8	0,38	0,81
8	100	2000	1,08	8	8,2	4	0,35	0,86
9	105	2600	1,22	9	8,5	6	0,37	0,83

Відповісти на запитання: які основні відмінності в роботі двотактного і чотиритактного двигунів внутрішнього згоряння? Переваги і недоліки кожного з них.

6. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ІСПИТІВ

1. Способи підвищення ефективності теплоенергопостачання.
2. Історія розвитку теплотехніки.
3. Основні теплотехнічні величини та їх розмірності в системі СІ. Температурні шкали Цельсія та Кельвіна, що в них спільного і відмінного.
4. Визначення термодинамічної системи, процесу і циклу.
5. Поняття теплоємності та її різновидності. Рівняння Майєра і показника адіабати k.
6. Основні параметри стану робочого тіла – температура, тиск, об'єм.
7. Теплові або калоричні параметри стану – внутрішня енергія, ентальпія, ентропія.
8. Визначеня і поняття теплоти і роботи. Зображення в PV –, TS – координатах.
9. Методика дослідження термодинамічних процесів зміни стану робочого тіла.
10. Дослідження ізотермного термодинамічного процесу.
11. Дослідження ізохорного термодинамічного процесу.
12. Дослідження ізобарного термодинамічного процесу.
13. Дослідження політропного термодинамічного процесу.
14. Визначення ідеального газу. Універсальне рівняння стану ідеального газу Менделєєва-Клапейрона.
15. Визначення реального газу. Рівняння станів реальних газів Ван-дер-Ваальса, Бертло, Дітеріччі.
16. Визначення і аналітичний вираз першого закону термодинаміки.
17. Визначення і аналітичний вираз другого закону термодинаміки.
18. Витікання і дроселювання газів і парів. Сопло Лаваля.
19. Поняття і визначення термічного К.К.Д. і холодильного коефіцієнта φ.
20. Прямий і обернений цикли Карно. Теорема Карно.
21. Фазова PV – діаграма води і водяної пари.
22. HS – діаграма водяної пари. Аналіз процесів, які відбуваються з робочим тілом в елементах паросилової установки з допомогою HS – діаграми.
23. Вологе повітря. HD – діаграма вологого повітря. Аналіз процесів, які відбуваються з робочим тілом в сушарках з допомогою HD – діаграми.
24. Принципова схема поршневого ДВЗ з підводом теплоти при V=const (цикл Отто). Індикаторна діаграма. Термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм, параметри циклу, термічний К.К.Д., середній індикаторний тиск і зовнішня корисна робота за цикл.
25. Принципова схема поршневого ДВЗ з підводом теплоти при P=const (цикл Дизеля). Індикаторна діаграма. Термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм, параметри циклу, термічний К.К.Д., середній індикаторний тиск і зовнішня корисна робота за цикл.
26. Принципова схема поршневого ДВЗ із змішаним підводом теплоти при V=const, P=const (цикл Трінклера). Індикаторна діаграма. Термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм, параметри циклу, термічний К.К.Д., середній індикаторний тиск і зовнішня корисна робота за цикл.
27. Компресор. Визначення, схеми, принципи дій. Термодинамічний аналіз стиску газу в односхідчастому поршневому компресорі з допомогою PV і TS діаграм.

28. Трьохсхідчастий охолоджуваний компресор. Принципова схема і термодинамічний аналіз стиску газу з допомогою PV і TS діаграм.
29. Газотурбінні установки (ГТУ). Принципова схема ГТУ з підводом теплоти при P= const і термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм.
30. Паросилові установки (ПСУ). Принципова схема ПСУ (цикл Ренкіна) і термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм.
31. Холодильні машини (ХМ). Принципова схема ХМ парокомпресійного типу і термодинамічний аналіз циклу з перегрівом пари з допомогою PV і TS діаграм. Холодильний коефіцієнт.
32. Темлові насоси (ТН). Принципова схема ТН парокомпресійного типу і термодинамічний аналіз циклу з перегрівом пари з PV і TS діаграм. Коефіцієнт перетворення теплоти.
33. Реактивні двигуни. Магніто-гідродинамічні генератори (МГД). Принципи дій.
34. Теорія тепломасообміну. Основні визначення і поняття.
35. Температурне поле. Градієнт температури.
36. Теплопровідність. Закон теплопровідності Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності λ. Диференційне рівняння теплопровідності.
37. Тепловіддача конвекцією. Закон тепловіддачі конвекцією Ньютона-Ріхмана. Кефіцієнт тепловіддачі конвекцією α.
38. Теорія подібності, моделювання. Критеріальні числа подібності Nu, Re, Pr, Gr.
39. Теплообмін випромінюванням. Закони теплового випромінювання Планка, Стефана-Больцмана, Кірхгофа. Прикладні задачі теплообміну випромінюванням між тілами.
40. Теплопередача через трьохшарову плоску стінку. Коефіцієнт теплопередачі К і коефіцієнт термічного опору R.
41. Теплопередача через багатошарову циліндричну стінку.
42. Теплообмінні апарати. Класифікація. Основи теплового розрахунку теплообмінників.
43. Тепловий розрахунок теплообмінного апарата на прикладі кожухотрубного рекуперативного теплообмінника.
44. Органічне паливо. Класифікація і характеристики.
45. Нища і вища теплоти згоряння палив. Коефіцієнт надлишку повітря α.
46. Визначення і поняття енерготехнології, вторинних енергетичних ресурсів, економії палив і теплової енергії, та захисту оточуючого середовища від шкідливих викидів.

7. ЛІТЕРАТУРА

1. Алабовский А. Н., Недужий И. А. Техническая термодинамика и теплопередача:Учеб. пособие. – К.:Выща шк., 1990. –255 с.

2. И. Т. Швец, В. И. Толубинский и др. Теплотехника. – Издательское объединение “Выща школа”, 1976.- с. 520

3. Теплотехника: Учеб. для вузов/ А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др.;/ Под ред. А.П. Баскатова.– 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат,1991.–224 с.

4. Теплотехника: Учебник для студентов вузов/ А.М. Архаров, С.И. Исаев, И.А.Кожинов и др.; /Под. общ. ред. В.И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.

5. Лариков Н.Н. Общая теплотехніка: Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1975. – 559 с.

6. Задачник по технической термодинамике и теории тепломасообмена: Учеб. пособие для энергомашиностроит. спец. вузов / В.Н. Афанасьев, С.И. Исаев, И.А. Кожинов и др.; /Под ред. В.И. Крутова и Г.Б. Петражицкого. – М.: Высш. шк., 1986. – 383 с.

7. Панкратов Г.П. Сборник задач по теплотехнике: Учеб. пособие для энергетич. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 248 с.

8. ДОДАТКИ

Додаток 1. Таблиця значень молекулярних мас μ і газових сталих R різних газів

Газ	Хімічна формула	μ, кг/кмоль	R, Дж/(кг·К)
Бутиловий спирт	$n-C_4H_{10}$	58,123	143,04
Водень	H_2	2,0159	4124,4
Водяна пара	H_2O	18,0152	461,51
Повітря	–	28,964	287,06
Гелій	He	4,0026	2077
Двоокис вуглецю	CO_2	44,0098	188,92
Кисень	O_2	31,9988	259,83
Метан	CH_4	16,0426	516,25
Фреон-11	$CFCl_3$	137,3684	60,52
Фреон-12	CF_2Cl_2	120,9138	68,76
Фреон-13	CF_3Cl	104,4592	79,59
Фреон-22	CHF_2Cl	86,7671	96,15
Фреон-113	$C_2F_3Cl_3$	187,3762	44,37
Фреон-142	$C_2H_3F_2Cl$	100,4955	82,73
Фреон-13 BI	CFl_3Br	148,9105	55,83
Етан	C_2H_6	30,0694	276,50
Етилен	C_2H_4	28,0536	296,37

Додаток 2. Фізичні властивості сухого повітря.

t, ^{0}C	ρ, кг/м3	с, кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 102$, Вт/(м·К)	$\mu \cdot 106$, Па·с	$\nu \cdot 106$, м^2/с	$a \cdot 106$, м^2/с	p_r
1	2	3	4	5	6	7	8
-50	1,584	1,013	2,04	14,6	9,23	12,7	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	15,2	10,04	13,8	0,728
-30	1,453	1,013	2,2	15,7	10,80	14,9	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	12,79	16,2	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	16,7	12,43	17,4	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	18,8	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,6	20,0	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	21,4	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,7	16,00	22,9	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,96	24,3	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	25,7	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	18,97	27,2	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	28,6	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	21,09	30,2	0,692
1	2	3	4	5	6	7	8
90	0,972	1,009	3,13	21,5	22,10	31,9	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	23,13	33,6	0,688
120	0,898	1,009	3,34	22,8	25,45	36,8	0,686
140	0,854	1,013	3,49	23,7	27,8	40,3	0,684
160	0,815	1,017	3,64	24,5	30,09	43,9	0,682
180	0,779	1,022	3,78	25,3	32,49	47,5	0,681
200	0,746	1,026	3,93	26,0	34,85	51,4	0,680
250	0,674	1,038	4,27	27,4	40,61	61,0	0,677
300	0,615	1,047	4,60	29,7	48,33	71,6	0,674

Додаток 3. Фізичні властивості деяких матеріалів

Назва речовини	ρ □ кг/м3	t, 0С	λ, Вт/(м·К)	C_p, кДж/(кг·)	a ·106, м2/с
Алюміній	2700	–	204	0,896	91,3
Азбест	500	20	0,106	0,837	–
Азбестовий картон	1000	20	0,184	0,84	–
Азбест розпущений	100	20	0,092	0,84	–
Бронза	8000	–	48,2	0,368	20,8
Вода	999,9	0	0,551	4,121	0,131
Водень	0,0899	0	0,172	14,192	135
Повітря	1,293	0	0,0244	1,005	18,8
Графітові вироби	1600	100	158	0,837	–
Залізобетон	2200	20	1,55	0,840	–
Камінне вугілля	1400	20	0,186	1,31	1,03
Цегла червона	1800	0	0,77	0,879	–
Латунь	8500	0	109	0,392	26,4
Лід	920	0	2,25	2,26	1,08
Мідь	8930	–	390	0,388	114,5
Мінеральна вата	150	20	0,075	0,92	–
Пінокераміка	1400	20	1,16	0,84	–
Піноскло	400	20	0,107	0,84	–
Гума тверда звичайна	1200	20	0,159	1,382	–
Сажа лампова	165	40	0,07-0,12	–	–
Срібло	10500	–	458	0,234	186,5
Сніг	560	–	0,465	2,09	0,4
Сталь 20	7830	–	51,0	0,494	13,2
Сталь 45	7830	–	47,8	0,490	12,5
Сталь 12ХІ8НІОТ	7860	–	16,3	0,494	0,42
Скловата	200	20	0,0465	–	–
Скловолокно	120	20	0,11	0,84	–
Текстоліт	1350	20	0,293	1,47	–
Цинк	7150	–	113	0,384	42,3
Чавун	7220	20	63	0,502	17,0
Ебоніт	1200	20	0,165	–	–

Додаток 4. Густина води ρ при температурах від 1 до 210 0С

t, ^{0}C	ρ, кг/м^3	t, ^{0}C	ρ, кг/м^3	t, ^{0}C	ρ, кг/м^3
1	2	3	4	5	6
1	999,87	60	984,24	86	986,0
2	999,97	61	982,72	87	967,34
4	1000,00	62	982,20	88	966,68
10	999,73	63	981,67	89	966,01
20	998,23	64	981,13	90	965,34
30	995,67	65	980,59	91	964,67
40	992,24	66	980,05	92	963,99
41	991,86	67	979,50	93	963,30
42	991.47	68	978,91	94	962,61
43	991,07	69	978,38	95	961,92
44	990,66	70	977,81	96	961,22
45	990,25	71	977,23	97	960,51
46	989,82	72	976,61	98	959,81
47	989,40	73	976,07	99	959,09
48	988,96	74	975,48	100	958,38
49	988,52	75	974,84	110	951,00
50	988,07	76	974,29	120	945,40
51	987,62	77	973,68	130	934,80
52	987,15	78	973,07	140	926,10
53	986,69	79	972,45	150	916,90
54	986,21	80	971,83	160	907,40
55	985,73	81	971,21	170	897,30
56	985,25	82	970,57	180	866,90
57	984,75	83	969,94	190	876,00
58	984,25	84	969,30	200	863,00
59	983,75	85	968,65	210	851,50

Додаток 5. Характеристики вугілля

Найменування пункту	Найменування вугільного басейну	Розрахункова графічна широта	Розрахунково баромет ричний тиск	Параметри						Розрахунко ва швид кість вітру
				Темпера тура ^{0}C	Ентальпія кДЖ/кг	Темпера тура ^{0}C	Ентальпія кДЖ/кг	Темпера тура ^{0}C	Ентальпія кДЖ/кг	
Олександрівськ Сахалінський	Сахалінський	52	1010	-19	-176	-26	-25,5	-41	-41	7,8
Ачинськ	Кансько-Ачинський	56	970	-22	-20,9	-41	-41	-60	-60,3	5,7
Бикин	Далекосхідний	48	1010	-23	-22,2	-32	-31,8	-46	-46,1	3,2
Воркута	Печорський	68	990	-26	-25,5	-41	-41	-52	-52,3	10,1
Ворошиловград	Донецький	48	1020	-10	-6,5	-25	-24,3	-42	-42,3	5,3
Донецьк	Донецький	48	990	-10	-6,5	-24	-	-37	-	6,2
Дніпропетровськ	Дніпропетров ський	48	1010	-9	-5,4	-24	-23	-34	-33,4	-5,5
Іркутськ	Іркутський	52	450	-25	-24,3	-38	-38,1	-50	-50,2	-28
Караганда	Карагандинський	48	950	-20	-18,8	-32	-31,8	-49	-49,1	7,7
Кемерово	Кузнецький	56	990	-25	-24,3	-39,9	-38,9	-55	-55,3	6,8
Корсаков	Сахалінський	48	970	-7	-2,5	-19	-17,6	-34	-33,9	5,6
Львів	Львівсько-Волинський	48	970	-70	-1	-19	-17,6	-34	-33,9	6,4
Мінусинськ	Мінусинський	52	970	-27	-26,8	-42	-42,3	-53	-53,2	4,8
Москва	–	56	990	-14	-11,7	-25	-24,3	-40	-40,2	4,9
Новосибірськ	Кузнецький	56	990	-24	-23	-39	-38,9	-50	-50,2	5,7
Норидськ	–	–	–	-24	–	-46	-	-56	-	-
Тбілісі	Кавказький	40	950	0	559	-7	-3,8	-23	-22,2	3,9
Тула	Підмосковський	56	990	-14	-11,7	-28	-27,6	-42	-42,3	4,9
Тургайськ	Бурятської АССР	48	990	-22	-20,9	-32	-31,8	-44	-44,4	5,7
Челябінськ	Челябінське	56	990	-20	-18,8	-29	-28,5	-45	-45,2	
Черемхове	Іркутське	–	–	-22	–	-38	-	-48	-	
Чита	Бурятської АССР і Читинської обл.	52	930	-30	-29,7	-38	-38,1	-49	-49,4	
Улан-Уде	Улехемський	52	930	-28	-27,6	-38	-38,1	-51	-51,1	2,8

Примітка: Дані для Москви наведені для порівняння

Додаток 6. Технічні характеристики стальних калориферів

№ з/п	Показник	КСк4-7-02ХЛЗА	КСк4-8-02ХЛЗА	КСк4-9-02ХЛЗА	КСк4-10-02ХЛЗА	КСк4-11-02ХЛЗА	КСк4-12-02ХЛЗА
1	Площа поверхні теплообміну, м2	21,47	25,52	29,57	37,66	110,05	166,25
2	Площа поперечного перерізу (середнє значення) для проходу теплоносія $F_w \cdot 10^6$,м2	1112	1112	1112	1112	3410	5151
3	Маса, кг	53	61	68	85	223	331
4	Площа поперечного перерізу колектора $F_w \cdot 10$,м2	220	220	220	220	220	220

Додаток 7. Технічні характеристики біметалічних спірально-накатних калориферів КСк:

№ з/п	Показник	КСк4-6-02ХЛ3А	КСк4-7-02ХЛ3А	КСк4-8-02ХЛ3А	КСк4-9-02ХЛ3А	КСк4-10-02ХЛ3А	КСк4-11-02ХЛ3А	КСк4-12-02ХЛ3А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Площа поверхні теплообміну, $м^2$	13,62	15,34	19,42	22,50	28,66	83,13	125,77
2	Площа фронтально-го перерізу для проходу теплоносія, $м^2$	0,267	0,329	0,392	0,455	0,581	1,680	2,488
3	Площа поперечного перерізу для проходу теплоносія $F_w \cdot 10^6$,м2	846	846	846	846	846	2576	3386
4	Маса, кг	38	44	50	56	68	176	259
5	Площа поперечного перерізу патрубка, $F_w \cdot 10^6$,м2	1006	1006	1006	1006	1006	2205	2205
6	Площа поперечного перерізу колектора $F_w \cdot 10^5$,м2	172	172	172	172	172	172	172
7	Довжина однієї трубки, м	0,53	0,655	0,780	0,905	1,155	1,655	1,655

1	2		3	4	5	6	7	8	9
8	Число ходів по теплоносію		6	6	6	6	6	4	4
9	Габаритні і принднуючи розміри мм.	А	530	655	780	905	1155	1655	1655
		А1	578 ∓ 4	703 ∓ 4	828 ∓ 4	953 ∓ 4	1203 ∓ 4	1703 ∓ 4	1703 ∓ 4
		А2	602	727	852	977	1227	1727	1727
		А3	687	812	937	1062	1312	1812	1812
		Б	503	503	503	503	503	1003	1003
		Б1	551 ∓ 3	551 ∓ 3	551 ∓ 3	551 ∓ 3	551 ∓ 3	1051 ∓ 3	1551 ∓ 3
		Б2	575	575	575	575	575	1075	1575
		В	575	430	430	430	430	912	1392
		dy	430 32	32	32	32	32	50	50

1. Калорифери з біметалічним спірально-накатним алюмінієвим оребрінням тепловіддаючих елементів призначені для нагріву повітря з гранично допустимим вмістом хімічно агресивних речовин по ГОСТ 12.1.005-76 м., із запиленістю не більше за 0,5 кг/м, що не містить липких речовин і волокнистих матеріалів в системах вентиляції, повітряного опалювання, кондиціонування повітря в умовах холодного клімату категорії розміщення по ГОСТ 15150-69.

2. Залежно від теплотехнічних і аеродинамічних показників калорифери поділяються на трьохрядні і чотирьохрядні.

3. Залежно від приєднувальних розмірів калорифери КСк3 і КСк4 кожних групи поділяються на сім видів.

4. Типова теплотехнічна характеристика - коефіцієнт теплопередачі. для трьохрядних калориферів описується рівнянням

$$k = 26,2 \cdot (v \cdot \rho)^{0,44} \cdot \omega^{0,17},$$

а чотирьохрядних

$$k = 26,2 \cdot (v \cdot \rho)^{0,5} \cdot \omega^{0,158},$$

де $v \cdot \rho$ – масова швидкість в набігаючому потоці повітря, кг/(м2·с); ω - швидкість води в трубах калорифера, м/с.

5. Типова аеродинамічна характеристика – величина аеродинамічного опору Δ ра, Па, для трьохрядних калориферів описується рівнянням

$$\Delta p_a = 5,675 \cdot \left(v \cdot \rho\right)^{1,832}$$

а чотирьохрядних

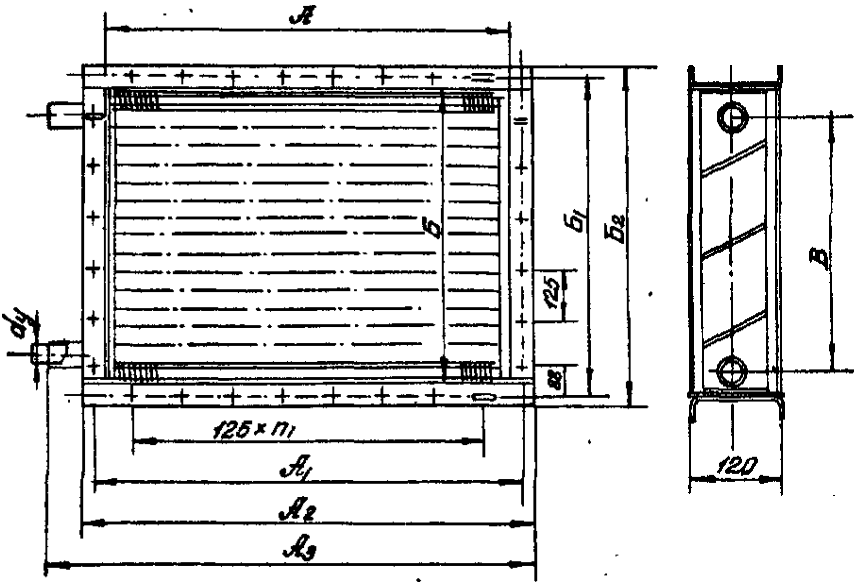
$$\Delta p_a = 8,435 \cdot \left(v \cdot \rho\right)^{1,705}$$

6. Типова гідравлічна характеристика – величина гідравлічного опору, Па:

$\Delta p_\omega = 0,5 \cdot \rho_\omega \cdot \omega^2 \cdot \left[2,7 \cdot \left(F_\omega / F_n\right)^2 + 6,7 \cdot \left(n-1\right) \cdot \left(F_\omega / F_k\right)^2 + 0,0121 \cdot n \cdot l / d^{1,226} + 0,6 \cdot n + 3,9\right]$, де ρ_ω – густина води, кг/м3; F_ω, F_n, F_K – площа поперечного січення відповідно одного

ходу, патрубка і колектора, м2; n – число ходів по теплоносію трубки, м; d – внутрішній діаметр тепловіддаючої трубки, м.

Основні конструктивні характеристики КСк3 і КСк4 наведені в наступній таблиці.



Додаток 8. Значення $\eta_д$ та $b_д$ для поршневих ДВЗ

Тип двигуна	Індикаторний КПД η і	Ефективний КПД $\eta_д$	Витрата пального г/(кВт ч)	
			Індикаторні ві	Ефективні $b_д$
Бензинові	0,26...0,28	0,25...0,32	230...300	280...325
Дизельні	0,43...0,52	0,35...0,45	160...200	190...240

Додаток 9. Середні ізобарні кіломольні теплоємності ідеальних газів, КДж/(кмоль·К)

t, ºС	Повітря	Кисень O^2	Азот N^2	Водень H^2	Водяна пара H_2O	Окис вуглецю CO	Вуглекислий газ CO_2
0	29,073	29,274	29,115	28,617	33,499	29,123	35,860
100	29,153	29,538	29,144	28,935	33,741	29,178	38,112
200	29,299	29,931	29,228	29,073	34,118	29,303	40,059
300	29,521	30,400	29,383	29,123	34,575	29,517	41,755
400	29,789	30,878	29,601	29,186	35,090	29,789	43,250
500	30,095	31,334	29,864	29,249	35,630	30,099	44,573
600	30,405	31,761	30,149	29,316	36,195	30,426	45,753
700	30,723	32,150	30,451	29,408	36,789	30,752	46,813
800	31,028	32,502	30,748	29,517	37,392	31,070	47,763
900	31,321	32,825	31,037	29,647	38,008	31,376	48,617
1000	31,598	33,118	31,313	29,789	38,619	31,665	49,392
1200	32,109	33,633	31,628	30,107	39,825	32,192	50,740
1400	32,565	34,076	32,293	30,467	40,976	32,653	51,858
1600	32,967	34,474	32,699	30,832	42,056	33,051	52,800
1800	33,319	34,834	33,055	31,192	43,070	33,402	53,604
2000	33,641	35,169	33,373	31,548	43,995	33,708	54,290
2200	33,296	35,483	33,658	31,891	44,853	33,980	54,881
2400	34,185	35,785	33,909	32,222	45,645	34,223	55,391

Додаток 10. Фізичні властивості води на лінії насичення

t, ºС	ρ, кг/м3	Ср, Дж/(кг·К)	λ·102, Вт/(м·К)	ς·106, $м^2/с$	Pr
10	999,7	4191	57,4	1,306	9,52
20	998,2	4183	59,9	1,006	7,02
30	995,7	4174	61,8	0,805	5,42
40	992,2	4174	63,5	0,659	4,31
50	988,1	4174	64,8	0,556	3,54
60	983,1	4179	65,9	0,478	2,98
70	977,8	4187	66,8	0,415	2,55
80	971,8	4195	67,4	0,365	2,21
90	965,3	4208	68,0	0,326	1,95
100	958,4	4220	68,3	0,295	1,75
110	951,0	4233	68,5	0,272	1,60
120	943,1	4250	68,6	0,252	1,47
130	934,8	4266	68,6	0,233	1,36
140	926,1	4287	68,5	0,217	1,26

Додаток 11. Характеристики деяких твердих і рідких палив

Вугілля		Марка	Склад горючої маси, %						Q_i^A, МДж/кг
Район родовища	Родовище		C^A	H^A	$S_{l+\varepsilon}^A$	O^A	N^A	V^A	
Донецький басейн	–	АР	93,5	2,0	2,2	1,5	0,8	3,5	33,35
–“–		ДР	75,5	5,5	4,2	13,2	1,6	43	30,54
–“–	–	ТР	89,0	4,2	3,1	2,2	1,5	12	34,27
Тульська обл.	– Підмос–ковний	Б2Р	67,0	5,2	6,1	20,4	1,3	47	26,23
Челябінська	Челябінс–кий	Б3Р	71,5	5,2	2,7	18,9	1,7	44	27,41
Мазут:									
малосірковий		М–40	87,7	11,6	0,52	0,62	–	–	40,88
високосірковий		М–60	85,6	10,7	3,00	0,70	–	–	40,02

Додаток 12. Характеристики стисненого газу

Район родовища	Родовище	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO_2	H_2S	Q_H^c, МДж/м3
Львівська обл.	Угерська	96,7	0,4	0,3	0,2	0,1	2,1	0,7	–	33,12
Полтавська обл.	Радченківське	86,4	0,12	0,05	0,02	0,01	0,01	0,1	Сліди	31,17
Харківська обл.	Шебелинське	92,9	4,1	0,8	0,3	0,3	1,6	0,1	–	34,85

Додаток 13. Втрати теплоти від зовнішнього охолодження котельних агрегатів

Паропродуктивність D, т/ч	q5, %	Паропродуктивність D, т/ч	q5, %
2,0	4,00	20	1,30
2,5	3,80	25	1,20
4,0	2,93	35	1,03
6,5	2,21	50	0,90
10,0	1,77	75	0,73
15,0	1,41	100	0,66

Додаток 14. Вид палива, продуктивність та тип рекомендованих топок

Вид палива	Продуктивність D, т/год	Рекомендується тип топки
Антрацит і вугілля	$\leq 6{,}5$	Топка з пневмомеханічним закидачем і решіткою з поворотними колосниками (ПМЗ-РПК)
	10 – 25	Топка з ланцюговою решіткою прямого ходу і самотічною подачею палива
	≥ 35	Пиловугільна топка з розмолом палива в барабанно-шаровій мельниці
Камінне і буре вугілля	≤ 4	Топка ПМЗ-РПК
	6,5 – 20	Топка з пневмомеханічним накидачем і цепною решіткою зворотнього ходу
	≥ 50	Пиловугільна топка
Мазут малосірчаний	≤ 20	Камерна топка з паромеханічними форсунками
Мазут малосірчаний	$\succ 20$	Камерна топка з механічними форсунками
Мазут високосірчаний	≤ 20	Камерна топка з паромеханічними форсунками
Мазут високосірчаний	$\succ 20$	Камерна топка з механічними форсунками
Природній газ	≥ 2	Камерна топка з змішуючи ми горілками

Додаток 15. Значення α_T та втрати теплоти

Тип топки	Вид палива	α_T''	Втрати теплоти	
			q_3	q_4
З пневмомеханічними закидачами і решіткою з поворотними ко-лосниками (ПМЗ-РПК)	Антрацит і бідне вугілля	1,6 –1,7	0,5 – 1,0	10 – 13
Буре вугілля	Кам'яне вугілля $A^n = 0,3$ $A^n = 0,4$ $A^n = 0,8$	1,4 –1,5	0,5 – 1,0	3 – 5,5 0,5 – 11 4,5 – 6,5
	$W^n = 1,7$ $A^n = 1,0$ $W^n = 2 \quad A^n = 1,6$ $W^n = 3,1 \;\; A^n = 21$	1,4 – 1,5	0,5 – 1,0	4 – 5,5 6,5 – 8,0 7,5 – 9,0
З ланцюговою решіткою прямого ходу	Антрацит і бідне вугілля	1,5 – 1,6	0,5	10 – 14
	Кам'яне вугілля $A^n = 0,33$ $A^n = 0,8$	1,4 – 4,4	1,5 2,5	3 – 5,5 3, 5– 6
Буре вугілля	$W^n = 1,8$ $A^n = 1,0$ $W^n = 2 \;\; A^n = 1,6$	1,3 – 1,4	0,5 – 1,0	3 – 6 5,5 – 7,5
З ПМЗ і ланцюговою решіткою зворотнього ходу	Кам'яне вугілля $A^n \le 0,8$ $A^n = 1,4$	1,3 – 1,4	0,5 – 1,0	3 – 6 5,5 – 7,5
Буре в угілля	$W^n \le 1,8$ $A^n \le 1,0$ $W^n \ge 2 \;\; A^n \ge 1,6$	1,3 – 1,4	0,5 – 1,0	4 – 6,5 5,5 – 7,5

$W^n = \dfrac{W^p}{Q_i^p} \dfrac{\%}{\grave{I}\ \ddot{A}\text{æ}\ /\hat{e}\tilde{a}}$ – приведена вологість палива; $A^n = \dfrac{A^p}{Q_i^p} \dfrac{\%}{\grave{I}\ \ddot{A}\text{æ}\ /\hat{e}\tilde{a}}$ – приведена зольність палива;

Додаток 16. Розрахункові характеристики камерних топок

Тип топки	Вид палива	Коефіцієнт надлишку повітря за топкою	Втрати теплоти від механічної неповноти згоряння q4, %, для котлоагрегатів з D, т/ч				Втрати теплоти від хімічного недопалу q3, %
			25	35	50	75	
Пило-вугільні	Антрацит	1,2–1,25	7	7	6	6	0,5(D′75) 0(D/75) теж саме
	Бідне вугілля	1,2	3	3	2	2	
	Кам'яне вугілля	1,2	5	3	2,5	1,5	
	Буре вугілля	1,2	3	1,5–2	1–2	0,5–1	
Камерні для спалювання мазуту і природного газу	Мазут	1,15(D′50) 1,10(D/50)	–	–	–	–	1,5
	Природний газ	1,15(D′50) 1,10(D/50)	–	–	–	–	1,0

ДЛЯ НОТАТОК