

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет механизации и технического сервиса
Кафедра «Эксплуатация машинно-тракторного парка»

Решения задач размещены на сайте zadachi24.ru

ТЕПЛОТЕХНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ЗАДАНИЯ
ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Студентам 2*, 3 курсов направления подготовки бакалавров:
110800 – «Агроинженерия»

190600 - «Эксплуатация транспортно-технологических машин и
комплексов»

Москва 2012

УДК 621.1(076.5)

Составители: д.т.н. профессор В.П.Мороз, к.т.н. доцент Т.В.Смородина, к.т.н. доцент А.С. Сметнев, ст.препод. Юдин Ю.Б.

Теплотехника: Методические указания по изучению дисциплины/Рос.гос.аграр.заоч.ун-т; Сост. д.т.н. профессор В.П.Мороз, к.т.н. доцент Т.В.Смородина, к.т.н. доцент А.С. Сметнев, Ю.Б. Юдин. М., 2012.

Предназначены для студентов 2* и 3 курсов
Утверждены методической комиссией факультета механизации и технического сервиса

Рецензенты: д.т.н., профессор Юдин В.М.,; к.т.н., профессор Карнаухов И.Е.

Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Теплотехника» относится к базовой (обязательной) части профессионального цикла ООП. Методические указания по данной дисциплине составлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, утвержденного Министерством образования и науки РФ 8.12.2009 г по направлению подготовки бакалавров 110800 – «Агроинженерия» и 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», примерной рабочей программой по дисциплине и рабочими учебными планами, утвержденными ученым советом ФГБОУ ВПО РГАЗУ 26.11.2010 г.

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель - теоретически и практически подготовить будущих специалистов методам получения, преобразования, передачи и использования теплоты в такой степени оптимизации, чтобы они могли выбирать и при необходимости могли эксплуатировать необходимое теплотехническое оборудование отраслей народного хозяйства в целях максимальной экономии ТЭР и материалов, интенсификации, технологических процессов и выявления использования вторичных энергоресурсов, защиты окружающей среды.

Предметом изучения являются основные законы термодинамики и тепло- и массообмена, термодинамические процессы и циклы, свойства рабочих тел, основы расчета теплообменных аппаратов, горения, энерготехнологии, энергосбережения, вторичные энергоресурсы, возобновляемые источники энергии, теплоэнергетические и холодильные установки, использование теплоты в отрасли, системы теплоснабжения, связь теплоэнергетических установок с проблемой защиты окружающей среды.

Задачи - формирование у студентов: знаний основ преобразования энергии, законов термодинамики и тепломассообмена, термодинамических процессов и циклов, свойств существенных для отрасли рабочих тел, горения, энерготехнологии, энергосбережения, расчета теплообменных аппаратов, способов теплообмена, принципа действия и устройства теплообменных аппаратов, теплосиловых установок и других теплотехнических устройств, применяемых в отрасли, систем теплоснабжения; умения рассчитывать состояния рабочих тел, термодинамические процессы и циклы, теплообменные процессы, аппараты и другие основные технические устройства отрасли, определять меры по тепловой защите и организации систем охлаждения, рассчитывать и выбирать рациональные системы теплоснабжения, преобразования и использования энергии.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные законы преобразования энергии, законы термодинамики, тепло- и массообмена;
 - термодинамические процессы и циклы;
 - основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли;
 - принцип действия и устройства теплообменных аппаратов, теплосиловых установок и других теплотехнологических устройств, применяемых в отрасли;
 - основные способы энергосбережения;
- связь теплоэнергетических установок с проблемой защиты окружающей среды;

Уметь:

- проводить термодинамические расчеты рабочих процессов в теплосиловых установках и других теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли;
- проводить теплогидравлические расчеты теплообменных аппаратов;
- рассчитывать и выбирать рациональные системы теплоснабжения, преобразования и использования энергии, рациональные системы охлаждения и термостатирования оборудования, применяемого в отрасли;
- рассчитывать тепловые режимы энергоустановок, их узлов и элементов.

Студент должен обладать следующими **общекультурными компетенциями (ОК):**

- владением культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения и (ОК-1);
- готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3);
- умением использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-5);
- стремлением к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства, владение навыками самостоятельной работы (ОК-6).

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих общепрофессиональных компетенций (ПК) в соответствии с ФГОС и РУП:

- способность к использованию основных законов получения, преобразования, передачи и использования теплоты;
- способность решать инженерные задачи с использованием основных законов термодинамики и тепломассообмена, знанием устройства и правил эксплуатации теплотехнического оборудования;
- способностью проводить и оценивать результаты измерений;
- знанием современных методов экономии топливно-энергетических ресурсов и материалов, интенсификации технологических процессов и выявления использования вторичных энергоресурсов, защиты окружающей среды;
- готовностью изучать и использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по исследованию эффективности альтернативных способов получения энергии.

1.2. Библиографический список.

Основной

- 1.Круглов Г.А. Теплотехника: учеб.пособие для вузов/ Г.А. Круглов. Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова.- СПб., 2010. – 207 стр.
2. Луканин В.Н. Теплотехника: Учебник для вузов /Под ред. В.Н. Луканина. М.:Высшая школа, 2009. - 671 с.

Дополнительный

3. Кошмаров Ю.А. Теплотехника: учеб. для вузов/ Ю.А- Кошмаров.-М., 2006,- 501 с.

4. Теплотехника: учеб. для вузов/под ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева.-М.:МГТУ, 2004.-711с.

5. Драганов Б.Х., Кузнецов А.В., Рудобашта СП. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. Учебник для вузов по инженерным специальностям сельского хозяйства. М.: Агропромиздат, 1990. - 463 с.

6. Рудобашта СП. и др. Тепло- и водоснабжение сельского хозяйства / Под ред. С.П. Рудобашты. М.: Колос, 1997. - 508 с.

1.3.Таблица распределения учебного времени по модулям (разделам) дисциплины и видам занятий с указанием учебного времени

№ пп	Наименование модуля (раздела) дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Модуль 1. Введение. Техническая термодинамика	<u>4(1*)</u> 3(1*)	<u>2(2*)</u> 4(3*)	<u>20(23*)</u> 25(25*)	<u>26</u> 32
	Тема 1.1. Введение. Основные понятия и определения термодинамики Тема 1.2. Первый закон термодинамики. Термодинамические процессы Тема 1.3. Второй закон термодинамики.				
2.	Модуль 2. Термодинамические циклы.	<u>2(1*)</u> 3(1*)	<u>4(4*)</u> 4(3*)	<u>20(21*)</u> 25(26*)	<u>26</u> 32
	Тема 2.1. Циклы тепловых двигателей Тема 2.2.Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров Тема 2.3. Циклы холодильных установок Тема 2.4. Новые способы преобразования энергии. Прямые преобразователи энергии				
3.	Модуль 3. Теория теплообмена.	<u>2(2*)</u> 2(2*)	<u>2(-*)</u> 2(2*)	<u>19*(20)</u> 27*(25)	<u>26</u> 32
	Тема 3.1. Основные понятия и определения теории теплообмена. Теплопроводность. Тема 3.2. Конвективный теплообмен. Тема 3.3. Теплообмен излучением Тема 3.4. Теплопередача Тема 3.5. Основы расчета теплообменных аппаратов				
4.	Модуль 4. Промышленная теплоэнергетика.			<u>19*(17)</u> 7* (25)	<u>19*(17)</u> 7*(25)

	Тема 4.1. Топливо, основы теории горения Тема 4.2. Котельные установки Тема 4.3. Тепловые двигатели Тема 4.4. Тепловые электрические станции.				
5.	Модуль 5. Применение теплоты в сельском хозяйстве			<u>19*(17)</u> <u>27*(26)</u>	<u>19*(17)</u> <u>19*(17)</u>
	Тема 5.1. Теплоснабжение предприятий сельского хозяйства. Тема 5.2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха Тема 5.3. Теплоснабжение защищенного грунта Тема 5.4. Тепловая сушка с.-х. продукции. Тема 5.5. Холодильные машины.				
	Итого: по направлению подготовки 190600	6(4*)	10(6*)	92(98*)	108
	по направлению подготовки 110800	8(4*)	10(8*)	126(132*)	144

Примечание: в числителе - число часов для студентов направления 190600, в знаменателе - число часов для студентов направления 110800, в скобках указаны часы для студентов с сокращенным сроком обучения.

Раздел 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ИЗУЧЕНИЮ

2.1. Модуль 1. Введение. Техническая термодинамика.

2.1.1. Содержание модуля.

Тема 1.1. Введение. Основные понятия и определения термодинамики.

Предмет теплотехники, место и роль в подготовке дипломированных специалистов. Связь теплотехники с другими отраслями знаний. Основные исторические этапы становления теплотехники, роль теплотехники в научно-техническом прогрессе, развитии новой техники и технологии. Значение теплотехники в сельском хозяйстве.

Основные положения Энергетической программы РФ. Проблема экономии топливно-энергетических ресурсов, снижение норм расхода теплоты и топлива, использование вторичных энергоресурсов, защита окружающей среды. Использование возобновляемых источников энергии. Основные задачи курса. Предмет технической термодинамики и ее методы. Термодинамическая система. Основные параметры состояния. Равновесное и неравновесное состояние. Уравнение состояния. Теплота и работа как формы передачи энергии. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы). Смеси рабочих тел. Способы задания состава смеси, соотношения между массовыми и объемными долями. Вычисление параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение давлений компонентов.

Теплоемкость. Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Теплоемкости при постоянном объеме и давлении. Зависимость теплоемкости

от вида термодинамического процесса, температуры и давления. Средняя и истинная теплоемкости. Формулы и таблицы для определения теплоемкости. Теплоемкость смеси рабочих тел.

Тема 1.2. Первый закон термодинамики. Термодинамические процессы

Сущность первого закона термодинамики. Формулировка первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики для открытых и закрытых систем. Определение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия. p - v и T - s диаграммы.

Общие методы исследования процессов изменения состояния рабочих тел. Политропные процессы. Основные характеристики политропных процессов.

Изображение в координатах p - v и T - s . Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный - частные случаи политропного процесса.

Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов. Пары. Основные определения. Процессы парообразования в p - v и T - s -координатах. Водяной пар. Понятие об уравнении Вукаловича - Новикова. Термодинамические таблицы воды и водяного пара, p - v , T - s и h - s -диаграммы водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и h - s -диаграммы.

Влажный воздух. Определение понятия "влажный воздух". Основные величины, характеризующие состояние влажного воздуха. H - d -диаграмма влажного воздуха. Расчет основных процессов влажного воздуха.

Тема 1.3. Второй закон термодинамики.

Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические циклы тепловых машин. Прямые и обратные циклы. Термодинамический КПД и холодильный коэффициент. Цикл Карно и его анализ. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах. Философское и статистическое толкования второго закона термодинамики. Изменение энтропии и работоспособность изолированной термодинамической системы. Понятие эксергии.

2.1.2. Методические указания по его изучению

Изучение законов взаимного превращения теплоты и работы и установление эффективных способов осуществления этого превращения - одна из важнейших задач курса «Техническая термодинамика».

В основу технической термодинамики положены первое и второе начала термодинамики. Приступая к ее изучению, студент должен четко представлять себе основные свойства и параметры состояния рабочих тел, используемых в тепловых машинах, знать законы связи между этими параметрами не только для идеальных газов, но и для реальных газов. Уясните такие понятия, как энергия, теплота, работа, термодинамический процесс, термодинамическая

система, равновесные и неравновесные состояния, так как на основе этих понятий пойдет дальнейшее изложение материала.

В тепловых расчетах, связанных с определением количества теплоты, большое значение имеет теплоемкость рабочего тела. При изучении этого вопроса необходимо разобраться в различии между истинной и средней теплоемкостями газов, в их зависимости от температуры, а также усвоить разницу между единицами измерения массовой, объемной и молярной теплоемкостей. При рассмотрении молярной теплоемкости газов следует усвоить, что молярные теплоемкости, если пренебречь их зависимостью от температуры, зависят от характера процесса и атомности газов.

Обратите внимание на то, что в отличие от теплоемкости жидких и твердых тел, теплоемкость газов всецело зависит от вида термодинамического процесса и может изменяться от $-\infty$ до $+\infty$, при этом важно усвоить поднятие об отрицательной (меньше нуля) теплоемкости газов. Значения массовой, объемной и молярной теплоемкостей могут быть вычислены по эмпирическим формулам или взяты из таблиц.

Первый закон термодинамики является частным случаем закона сохранения и превращения энергии и имеет большое прикладное значение при решении вопросов анализа тепловых процессов, при составлении их энергетических балансов, то есть соотношения между теплотой, механической работой и изменением внутренней энергии газа в термодинамическом процессе.

Необходимо разобраться в физической сущности понятий: внутренняя энергия, теплота и механическая работа. При этом надо обратить внимание на то, что внутренняя энергия идеального газа зависит только от абсолютной температуры, поэтому изменение внутренней энергии газа не зависит от вида процесса и в любом термодинамическом процессе определяется по одной и той же формуле.

В технической термодинамике сначала рассматриваются основные частные случаи процессов: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный, а затем обобщающий политропный процесс.

Политропный процесс - любой термодинамический процесс, протекающий с постоянной теплоемкостью и имеющий определенный показатель политропы процесса. Важно уяснить связь между показателем политропы и характером изменения состояния газа. Это удобно сделать путем графического анализа политропного процесса в системах координат $p-v$ и $T-s$, так как в этом случае можно наглядно проследить характер процесса при изменении показателя политропы в пределах от $-\infty$ до $+\infty$. Обратите при этом особое внимание на политропные процессы, протекающие с отрицательными (меньше нуля) теплоемкостями.

Второй закон термодинамики устанавливает условия работы тепловых двигателей и направление самопроизвольного протекания тепловых процессов. Теплота самопроизвольно, то есть естественным путем передается от тел нагретых к телам менее нагретым, а превращение теплоты в работу происходит только при наличии двух источников теплоты: горячего и холодного. В основе

работы любого теплового двигателя обязательно имеет место какой-либо цикл. Важным показателем эффективности циклов тепловых двигателей является их термический коэффициент полезного действия (КПД), который будет увеличиваться как с увеличением количества подведенной теплоты, так и с уменьшением количества отведенной теплоты.

При рассмотрении прямого цикла Карно необходимо обратить внимание на то, что при заданных температурах горячего и холодного источников теплоты из всех возможных циклов цикл Карно является наивыгоднейшим, то есть имеет наибольший термический КПД.

При изучении обратного цикла Карно, лежащего в основе работы холодильных машин и тепловых насосов, следует использовать положение второго закона термодинамики о невозможности передачи теплоты от менее нагретого тела к более нагретому без совершения механической работы.

В тесной связи со вторым законом термодинамики находится понятие энтропии. Следует разобраться в математическом определении энтропии и рассмотреть тепловую диаграмму $T-s$, имея в виду, что с помощью этой диаграммы решаются сложные задачи по расчету тепловых машин и аппаратов. Необходимо усвоить, что изменение энтропии при любом процессе будет пропорционально теплоемкости газа.

Для анализа степени совершенства процессов тепловых машин и аппаратов используется понятие эксергии. Под эксергией или работоспособностью понимается максимальная работа, совершаемая рабочим телом в процессе, если оно в конце процесса приходит в состояние термодинамического равновесия с окружающей средой.

2.1.3. Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение термодинамических параметров состояния газа.
2. Объясните понятие киломоля вещества. Напишите уравнение состояния для киломоля идеального газа.
2. Что называется средней и истинной теплоемкостями газа?
3. Дайте определение и объясните физическую сущность величин, входящих в уравнение первого закона термодинамики.
4. Что называют политропным термодинамическим процессом?
5. Как определяется теплоемкость идеального газа в политропном процессе?
6. Каковы основные формулировки второго закона термодинамики?
7. Что называется термическим коэффициентом полезного действия цикла тепловой машины?
8. Какие термодинамические процессы составляют цикл Карно?

2.1.4. Задания для самостоятельной работы

1. Из трех уравнений состояния идеального газа выберите уравнение состояния 1 моля идеального газа:

1) $pV = RT$;

2) $pV_{\mu} = 8314T$;

3) $pV = mRT$.

2. Выберите значение показателя политропы для следующих процессов:

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1) Изотермический процесс | а) $n = \pm\infty$; |
| 2) Изобарный процесс | б) $n = 1$; |
| 3) Изохорный процесс | в) $n = k$; |
| 4) Адиабатный процесс | г) $n = 0$. |

3. Выберите уравнение первого закона термодинамики для следующих процессов:

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1) Изотермический процесс | а) $q = \Delta u + l$; |
| 2) Изобарный процесс | б) $\Delta u + l = 0$; |
| 3) Изохорный процесс | в) $q = l$; |
| 4) Адиабатный процесс | г) $q = \Delta u$. |

4. Из четырех формулировок выберите одну, не относящуюся к формулировке второго закона термодинамики:

- 1) невозможно построить непрерывно действующую тепловую машину.
- 2) невозможно построить вечный тепловой двигатель 1 рода.
- 3) $\eta < 1$.
- 4) для того, чтобы построить периодически действующую тепловую машину, необходимо иметь два источника теплоты: горячий и холодный.

5. Уберите два неверных определения цикла тепловой машины.

Циклом тепловой машины называют:

- 1) цикл, в котором процессы расширения располагаются выше процессов сжатия;
- 2) цикл, соответствующий последовательности процессов, чередующихся по часовой стрелке,
- 3) цикл, соответствующий последовательности процессов, чередующихся против часовой стрелки,
- 4) цикл, в котором процессы расширения располагаются ниже процессов сжатия.

6. Какое из двух математических выражений термодинамического коэффициента полезного действия справедливо для цикла действительного двигателя:

1) $\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2}$; 2) $\eta_t = 1 - \frac{q_1}{q_2}$.

2.2. Модуль 2. Термодинамические циклы

2.2.1. Содержание модуля 2.

Тема 2.1. Циклы тепловых двигателей.

Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Принцип действия поршневых ДВС. Циклы с изохорным и изобарным подводом теплоты. Цикл со смешанным подводом теплоты. Изображение циклов в $p-v$ и $T-s$ -диаграммах. Термодинамические и эксергетические КПД циклов ДВС. Сравнительный анализ термодинамических циклов ДВС.

Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Принцип действия ГТУ. Цикл ГТУ с изобарным и изохорным подводом теплоты. Регенеративные циклы. Изображение циклов в $p-v$ и $T-s$ -диаграммах. Термические и эксергетические

КПД ГТУ.

Циклы паросиловых установок. Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на величину термического КПД цикла Ренкина. Изображение цикла в $p-v$, $T-s$ $h-s$ диаграммах. Пути повышения экономичности паросиловых установок. Теплофикационный цикл. Понятие о циклах атомных силовых установок. Эксергетический анализ циклов паросиловых установок.

Термодинамический анализ процессов в компрессорах. Классификация компрессоров и принцип действия. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Полная работа, затраченная на привод компрессора. Многоступенчатое сжатие. Изображение в $p-v$ и $T-s$ -диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах.

Тема 2.2. Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров.

Основные положения. Уравнение истечения. Располагаемая работа и скорость истечения. Секундный расход при истечении. Связь критической скорости истечения с местной скоростью распространения звука. Критическое отношение давлений. Расчет скорости истечения и секундного массового расхода для критического режима. Условия перехода через критическую скорость. Сопло Лаваля. Расчет процесса истечения водяного пара с помощью $h-s$ диаграммы.

Дросселирование газов и паров. Сущность процесса дросселирования и его уравнение. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля-Томпсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования. Условное изображение процесса дросселирования в $h-s$ - диаграмме.

Тема 2.3. Циклы холодильных установок

Классификация холодильных установок. Рабочие тела. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл воздушной холодильной установки. Циклы паровых компрессорных холодильных установок. Понятие об абсорбционных и парожетторных холодильных установках. Получение сжиженных газов. Общие принципы и способы достижения сверхнизких температур.

Тема 2.4. Новые способы преобразования энергии. Прямые преобразователи энергии.

Термотрансформаторы. Сущность термотрансформации, коэффициент преобразования теплоты. Циклы понижающего и повышающего термотрансформатора. Циклы совместного получения теплоты и холода.

Топливные элементы. Солнечные батареи. Термоэлектрические генераторы. Термоэмиссионные преобразователи. Магнитогидродинамические (МГД) генераторы. Вихревой эффект.

2.2.2. Методические указания по его изучению

Рассмотрите циклы, по которым работают поршневые двигатели внутреннего сгорания и компрессоры; проведите аналитический и графический (в системах координат $p-v$; $T-s$) анализы этих циклов.

Обратите особое внимание на цикл двигателя внутреннего сгорания со смешанным (изохорно-изобарным) подводом теплоты, так как по этому циклу осуществляются рабочие процессы подавляющего большинства современных двигателей с воспламенением от сжатия (дизелей).

При одинаковых степенях сжатия цикл ДВС с изохорным подводом теплоты является наиболее экономичным по сравнению с циклом с изобарным подводом теплоты и с циклом со смешанным подводом теплоты.

Экономичность циклов ДВС зависит от их степени сжатия, степени повышения давления и степени предварительного расширения.

Значительное место в технической термодинамике отводится изучению свойств паров (главным образом водяного пара).

Пары могут менять свое состояние, превращаться в жидкость. При этом законы, которым они подчиняются, в области, близкой к сжижению, очень сильно отклоняются от законов идеального газа.

Аналитическое определение параметров состояния паров затруднено тем, что зависимость между этими параметрами (уравнения состояния) получается очень сложной. Поэтому параметры состояния определяются по таблицам или диаграммам. Особенно большое значение имеет $h-s$ -диаграмма для водяного пара, которая в практике используется очень широко.

Знание свойств влажного воздуха имеет большое значение. Ознакомьтесь с основными параметрами влажного воздуха. Особое внимание нужно уделить диаграмме $h-d$ влажного воздуха, так как с помощью этой диаграммы ведутся расчеты процессов сушки различных продуктов, кондиционирования воздуха, воздухообмена в животноводческих помещениях и другие процессы.

В современной технике очень широко используется процесс истечения паров и газов. Работа паровых и газовых турбин, реактивных двигателей, многих других машин основана на использовании кинетической энергии движущегося пара или газа. При изучении процесса истечения пара и газа проанализируйте уравнения, определяющие скорость истечения, секундный расход и площадь сечения сопла; уясните понятия критической скорости и соответствующих критических параметров ($p_{кр}$; $v_{кр}$; $h_{кр}$; $T_{кр}$); рассмотрите применение сопла Лаваля.

Под процессом дросселирования (мятия) газа или пара понимают необратимый процесс изменения его состояния, происходящий тогда, когда газ или пар, протекая по трубопроводу, встречает на своем пути сопротивление, обусловленное местным сужением сечения трубопровода, при этом скорость газа или пара возрастает, как и при истечении, а давление падает. При изучении этого явления уделите особое внимание эффекту Джоуля-Томпсона (дроссель-эффект), так как он используется в холодильных установках.

Ознакомьтесь с термодинамическими основами сжатия газов в компрессоре.

Изучение термодинамических циклов паросиловых установок следует начинать с цикла Карно, уяснив себе причины неприменяемости его в реальных паросиловых установках. Затем рассмотрите основной цикл паросиловой установки - цикл Ренкина, после чего переходите к изучению более сложных циклов: цикла с промежуточным перегревом, теплофикационного, регенеративного циклов, уделяя при этом внимание вопросам их экономичности.

В заключение следует рассмотреть цикл холодильных установок, которые используются в промышленности и сельском хозяйстве, а также цикл теплового насоса.

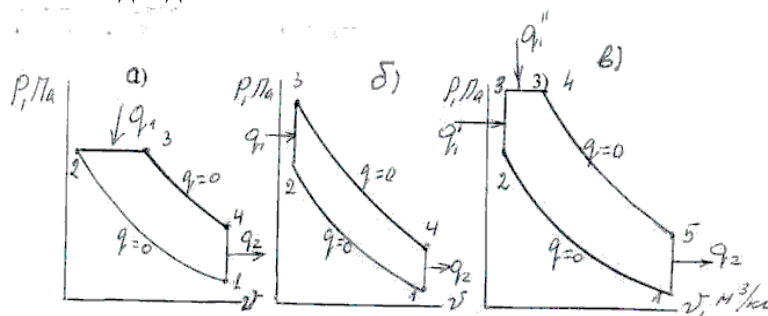
2.2.3. Вопросы для самоконтроля

1. От каких характеристик циклов двигателей внутреннего сгорания зависит их термодинамический КПД?
2. Покажите относительную эффективность циклов ДВС при одинаковых степенях сжатия и при одинаковых наивысших температурах.
3. Изобразите в $p-v$, $T-s$ и $h-s$ координатах процесс превращения воды в перегретый пар и разберите его особенности.
4. Изобразите в $p-v$ и $T-s$ координатах идеальный цикл простейшей паросиловой установки (цикл Ренкина) и дайте к нему необходимые пояснения.
5. Что называют абсолютной и относительной влажностью влажного воздуха?
6. Что называют критической скоростью истечения и критическими параметрами?
7. Что называется дроссель-эффектом Джоуля-Томпсона?
8. Что называется холодильным коэффициентом холодильной машины?
9. Объясните принцип работы теплового насоса.

2.2.4. Задания для самостоятельной работы

1. Обозначьте каждый из трех изображенных циклов двигателя внутреннего сгорания:

- 1) цикл Отто с изохорным подводом теплоты;
- 2) цикл Дизеля с изобарным подводом теплоты;
- 3) цикл со смешанным подводом теплоты.



2. Дайте правильный ответ:

- 1) теплота парообразования больше теплоты конденсации пара при одном и том же давлении,
- 2) теплота парообразования меньше теплоты конденсации пара при одном и том же давлении,
- 3) теплота парообразования равна теплоте конденсации пара при одном и том же давлении.

3. Назовите основные элементы схемы цикла паросиловой установки:

- 1) паровой котел; 2) паровая турбина;
- 3) конденсатор, 4) насос,
- 5) компрессор; 6) электрогенератор.

4. Температурой точки росы называют

- 1) температуру влажного воздуха, при которой из воздуха будет выпадать влага,
- 2) температуру, до которой должен охладиться ненасыщенный влажный воздух, чтобы содержащийся в нем перегретый пар стал насыщенным.

5. Уберите два неверных определения цикла холодильной машины.

Циклом холодильной машины называют:

- 1) цикл, в котором процессы расширения располагаются выше процессов сжатия;
- 2) цикл, соответствующий последовательности процессов, чередующихся по часовой стрелке,
- 3) цикл, соответствующий последовательности процессов, чередующихся против часовой стрелки,
- 4) цикл, в котором процессы расширения располагаются ниже процессов сжатия.

6. Тепловым насосом называют:

- 1) холодильную машину, предназначенную для выработки тепловой энергии за счет превращения в неё электрической энергии;
- 2) холодильную машину, предназначенную для выработки тепловой энергии за счет теплоты окружающей среды (воздуха, воды в водоёмах, грунта).

2.3. Модуль 3. Теория теплообмена.

2.3.1. Содержание модуля 3.

Тема 3.1. Основные понятия и определения теории теплообмена.

Теплопроводность. Основные понятия и определения теории теплообмена. Предмет и задачи теории теплообмена. Значение теплообмена в промышленных процессах. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция и излучение. Сложный теплообмен. Теплопроводность. Основные понятия и определения. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизмы передачи теплоты в металлах, диэлектриках, полупроводниках, жидкостях и газах. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент теплопроводности.

Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской, цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода.

Тема 3.2. Конвективный теплообмен. Основные понятия и определения. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Дифференциальные уравнения теплообмена:

Уравнение движения вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса), уравнение

теплопроводности для потока движущейся жидкости (уравнение Фурье-Кирхгофа), уравнение теплоотдачи на границе потока и стенки (уравнение Био-Фурье), уравнение закона сохранения, однозначности к дифференциальным уравнениям конвективного теплообмена. Основные положения теории пограничного слоя. Исследование теплоотдачи методами теории пограничного слоя.

Основы теории подобия. Основные определения. Условия подобия физических явлений. Преобразование подобия. Критериальные уравнения. Определяющие критерии. Метод моделирования. Физический смысл основных критериев подобия. Понятие о математическом моделировании.

Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при движении жидкости вдоль плоской поверхности; теплоотдача при ламинарном и турбулентном пограничном слое; решение задач методом теории подобия; критериальные уравнения.

Конвективный теплообмен в каналах. Теплообмен в трубах при течении теплоносителей с переменными теплофизическими свойствами. Теплоотдача при ламинарном, переходном и турбулентном режимах течения. Теплообмен в каналах некруглого поперечного сечения. Интенсификация теплообмена в каналах.

Теплоотдача при поперечном смывании одиночной круглой трубы. Теплоотдача при поперечном смывании пучков труб, коридорно и шахматно расположенных. Критериальные уравнения.

Теплоотдача при свободном движении жидкости. Теплоотдача в неограниченном объеме; ламинарная и турбулентная конвекция у вертикальных поверхностей. Естественная конвекция у горизонтальных труб. Критериальные уравнения. Теплообмен при свободной конвекции в замкнутых объемах.

Теплообмен при изменении агрегатного состояния, теплообмен при кипении; механизм процесса при пузырьковом и пленочном режимах кипения.. Кризисы кипения. Теплоотдача при пузырьковом и пленочном кипении жидкости в большом объеме. Расчетные уравнения для определения коэффициента теплоотдачи.

Пузырьковое и пленочное кипение при вынужденном течении в каналах. Основные режимы течения двухфазного потока в вертикальных и горизонтальных каналах.

Теплообмен при конденсации. Пленочная и капельная конденсация. Теплоотдача при конденсации чистых паров. Расчетные уравнения коэффициента теплоотдачи для вертикальных и горизонтальных труб. Факторы, влияющие на теплообмен при конденсации чистых паров и паров из паровых смесей.

Тема 3.3. Теплообмен излучением

Общие понятия и определения; тепловой баланс лучистого теплообмена. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами,

разделенными прозрачной средой; коэффициент облученности; теплообмен между телами, произвольно расположенными в пространстве. Защита от излучения. Излучение газов. Теплообмен излучением в топках и камерах сгорания.

Тема 3.4. Теплопередача. Сложный теплообмен. Теплопередача через плоскую, цилиндрическую, сферическую, и оребренную стенки. Коэффициент теплопередачи. Пути интенсификации процесса теплопередачи. Тепловая изоляция. Выбор материала тепловой изоляции.

Тема 3.5. Основы расчета теплообменных аппаратов. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Принцип расчета теплообменных аппаратов. Конструктивный и поверочный тепловые расчеты теплообменных аппаратов. Средний температурный напор. Основы гидродинамического расчета теплообменных аппаратов.

Способы интенсификации теплообмена при однофазном течении газов и жидкости, при кипении и конденсации применительно к высокоэффективным теплообменным аппаратам. Современные конструкции трубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов. Методы оценки эффективности интенсификации теплообмена и оптимизация теплообменных аппаратов.

2.3.2. Методические указания по его изучению

Процесс передачи теплоты очень сложный, поэтому при изучении его разделяют на простые явления: теплопроводность, конвективный теплообмен и тепловое излучение.

Изучение процесса теплопроводности начните с усвоения основных понятий: стационарного и нестационарного температурного поля, температурного градиента и теплового потока.

Основной закон теплопроводности — закон Фурье устанавливает зависимость между величиной теплового потока и градиентом температуры.

Работая над разделом «Теплопроводность», студент должен научиться определять количество теплоты, проходящей через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки при стационарных процессах теплопроводности, усвоить законы изменения температуры внутри таких тел.

В сельском хозяйстве находят широкое применение различные теплообменные аппараты с внутренними источниками теплоты, например электрические водонагреватели. Поэтому необходимо обратить внимание на расчет процессов теплопроводности тел с внутренними источниками тепла.

Конвективный теплообмен тесно связан с физическими свойствами теплоносителя и характером его движения. Ознакомьтесь с видами движения жидкостей и газов — свободным и вынужденным и режимами последнего — ламинарным и турбулентным, природой пограничного слоя (гидродинамического и теплового).

Интенсивность конвективного теплообмена зависит от самых различных факторов, поэтому конвективный теплообмен изучается в основном

экспериментальным путем. Величины коэффициента теплоотдачи конвекцией определяются на основе функциональной связи между тепловыми и гидродинамическими числами (критериями) подобия.

Запомните основные числа (критерии) подобия, применяемые при расчете конвективного теплообмена (критерии Nu ; Re ; Gr ; Pr), четко разобравшись в их физической сущности, а также уясните структуру основных эмпирических уравнений конвективного теплообмена: уравнения типа

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n \quad \text{и} \quad Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^m.$$

Изучая раздел «Теплоотдача при изменении агрегатного состояния», рассмотрите переход от пузырьчатого режима кипения к пленочному и уясните физическую природу снижения коэффициента теплоотдачи при появлении на стенке паровой пленки. В данном случае нужно ясно представить себе опасности, связанные с превышением критической тепловой нагрузки.

Изучая вопрос теплоотдачи при конденсации пара, обратите внимание на влияние пленки конденсата на теплоотдачу и на меры, способствующие ее удалению.

Приступая к изучению процессов теплового излучения, прежде всего необходимо понять, что тепловое излучение всегда сопровождается двойным превращением энергии — тепловая энергия излучающего тела переходит в лучистую, а лучистая энергия, поглощаясь другим телом, переходит в тепловую.

Изучите классификацию тел по их поглощательной и излучательной способностям, а затем разберитесь в основных законах и рассмотрите основные случаи лучистого теплообмена между телами.

Разделение теплообмена на три вида (теплопроводность, конвективный и лучистый теплообмен) является условным и проведено по методическим соображениям. В действительности же теплообмен во всякого рода аппаратах и устройствах обычно происходит одновременно всеми видами переноса.

Теплопередачу необходимо рассматривать как сложный процесс теплообмена, уяснив при этом назначение и классификацию теплообменных аппаратов по принципу действия (рекуперативные, регенеративные и смешительные).

Цель расчета при проектировании новых аппаратов заключается в определении величины площади поверхности нагрева. Для работающих аппаратов, когда поверхность нагрева известна, целью расчета являются установка режима работы аппарата, определение конечных температур теплоносителей и коэффициента теплопередачи.

Необходимо ясно представлять различие в схемах прямоточного и противоточного рекуперативных теплообменников, разбираться в вычислениях среднего температурного напора в каждой из схем и уметь давать сравнительную характеристику той и другой схемам.

Во многих теплообменных аппаратах происходят процессы, сопровождающиеся переносом массы. Примерами таких процессов могут служить процессы сушки, испарения, абсорбции и др. Если теплообмен

характеризуется выравниванием температур, то массообмен проявляется в выравнивании концентраций вещества.

Изучение темы начните с усвоения основных терминов и понятий: диффузия молекулярная и молярная, термодиффузия и др. Далее ознакомьтесь с законом Фика, характеризующим интенсивность концентрационной диффузии, обратив при этом внимание на его аналогию с законом Фурье. Разберите такие понятия, как плотность потока массы, коэффициент молекулярной диффузии.

При сушке влажных материалов механизм переноса теплоты и влаги отличается от процессов, протекающих при испарении жидкости со свободной поверхности. Изучите основные законы переноса теплоты и массы во влажных материалах, числа подобия тепломассообмена, основные критериальные уравнения, коэффициенты переноса теплоты и вещества.

2.3.3. Вопросы для самоконтроля

1. Объясните отличие в механизме теплопереноса трех элементарных видов теплообмена.
2. Как формулируется основной закон теплопроводности (закон Фурье) в дифференциальной и конечной формах? Дайте анализ этого закона.
3. В чем различие процессов теплоотдачи и теплопередачи?
4. Какие существуют основные формы движения жидкости и какая между ними разница?
5. В чем сущность теории подобия?
6. Какими основными безразмерными критериями (числами) определяется конвективный теплообмен и каков физический смысл этих критериев?
7. Напишите уравнение и дайте формулировку закона Стефана-Больцмана для теплового излучения тела.
8. Какие бывают случаи движения теплоносителей в теплообменных аппаратах?
9. Как определяется средний температурный напор в теплообменном аппарате при различных схемах движения теплоносителей?
10. В чем заключаются особенности расчета теплообменных аппаратов с внутренними источниками теплоты?
11. Как формулируется закон молекулярной диффузии (закон Фика) в дифференциальной и конечной формах? Объясните физический смысл коэффициента молекулярной диффузии, градиента концентрации.
11. В чем различие молекулярного и молярного переноса массы?

2.3.4. Задания для самостоятельной работы

1. Приведите соответствие определения трех способов теплообмена:

1) теплопроводность	а) процесс распространения теплоты в пространстве посредством электромагнитных волн,
2) конвекция	б) процесс распространения теплоты движущимися микрообъемами жидкости или газа,
3) тепловое излучение	в) процесс распространения теплоты за счет непосредственного соприкосновения тел или частиц тела друг с другом.
2. Установите соответствие температурных полей:

1) стационарное а) температурное поле во времени не изменяется;

2) нестационарное б) температурное поле во времени изменяется.

3. Установите соответствие:

1) свободная конвекция а) движение теплоносителя происходит под действием внешних поверхностных сил (ветра, насоса или вентилятора);

2) вынужденная конвекция б) движение теплоносителя происходит за счет разности плотностей холодных и нагретых частиц.

4. Установите соответствие критериев подобия

1) критерий Рейнольдса а) выражает теплофизические свойства теплоносителя;

2) критерий Нуссельта б) представляет собой отношение сил инерции к силам трения;

3) критерий Прандтля в) мера соотношения двух видов теплообмена – теплопроводности и теплоотдачи – на границе «стенка-теплоноситель».

5. Установите соответствие:

1) серое тело а) тело, которое полностью отражает все падающие на него лучи;

2) абсолютно прозрачное тело б) тело, которое полностью поглощает все падающие на него лучи;

3) абсолютно белое тело, в) тело, которое полностью пропускает сквозь себя все падающие на него лучи;

4) абсолютно черное тело г) тело, которое частично отражает, частично поглощает, частично пропускает все падающие на него лучи.

6. Какие теплообменные аппараты имеют твердую поверхность теплообмена:

1) рекуперативные; 2) регенеративные; 3) смешительные.

7. При конструктивном расчете теплообменного аппарата

1) определяют тепловую мощность аппарата и конечные температуры теплоносителей;

2) определяют тепловую мощность аппарата, расход горячего теплоносителя и площадь поверхности теплообмена.

2.4. Модуль 4. Промышленная теплоэнергетика.

2.4.1. Содержание модуля 4.

Тема 4.1. Топливо, основы теории горения. Виды сжигаемого топлива и их характеристика. Классификация топлив. Перспективы применения различных топлив в промышленности. Твердое, жидкое и газообразное топлива и их основные характеристики. Элементарный состав топлива. Теплота сгорания. Условное топливо. Структура топливного баланса страны и отрасли. Проблема экономии топлива и пути ее решения.

Основы теории горения и организация сжигания топлив. Основы сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива, а также отходов производств. Очистка дымовых газов.

Расчеты процессов горения жидкого, твердого и газообразного топлива. Определение теоретически необходимого количества воздуха для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива. Коэффициент избытка воздуха. Определение объемов и энтальпии продуктов сгорания топлива. $H-t$ -

диаграмма продуктов сгорания.

Проблема защиты окружающей среды от выбросов продуктов сгорания топлива.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). Общие положения и классификация ВЭР, Возможность использования ВЭР в отрасли. Роль ВЭР в топливо- и теплоснабжении отрасли. Источники ВЭР отрасли и их использования.

Возобновляемые источники энергии. Перспективы использования возобновляемых источников в народном хозяйстве страны. Пути использования возобновляемых источников энергии. Основные направления применения солнечной и геотермальной энергии. Использование биомассы для получения энергии.

Гидроэнергетика. Ветроэнергетика. Фотосинтез. Энергия волн. Энергия приливов.

Преобразование тепловой энергии океана.

Тема 4.2. Котельные установки. Основные понятия. Классификация и устройство водогрейных и паровых котлов. Теплоносители.

Основы теплового расчета котельных агрегатов. Задачи и методы теплового расчета. Тепловой баланс и КПД котельного агрегата. Расход топлива, удельный расход топлива.

Расчет теплопередачи в топках паровых котлов и в поверхностях нагрева котлоагрегата.

Основы аэродинамического расчета котельного агрегата. Водоподготовка. Сепарация пара. Питательные устройства котельных установок. Тягодутьевые устройства.

Общие положения об эксплуатации котельных установок. Правила Ростехнадзора и техники безопасности. Мероприятия по защите окружающей среды при эксплуатации котельных установок.

Тема 4.3. Тепловые двигатели

Двигатели внутреннего сгорания. Классификация и основные характеристики ДВС. Тепловые процессы в двигателях. Индикаторная мощность двигателя. Эффективная мощность двигателя. Механический и эффективный КПД двигателя. Удельный индикаторный и эффективный расход топлива. Энергетический и эксергетический балансы ДВС. Особенности рабочих процессов в двигателях, работающих на газообразном топливе. Показатели экономичности работы ДВС.

Паровые турбины. Работа пара в турбине. Процессы в сопловом аппарате и на лопатках. Активный и реактивный принцип работы. Кинематика потока в ступени. Основные геометрические параметры ступени. Тепловые потери и коэффициенты полезного действия. Конденсационные устройства паровых турбин. Тепловой баланс паротурбинной установки. Турбины с противодавлением и промежуточным отбором пара.

Газовые турбины. Регенерация теплоты. Промежуточное охлаждение и промежуточный подвод теплоты в многовальном газотурбинном двигателе.

Удельная работа и КПД. Удельный баланс газотурбинного двигателя. Оптимальные степени повышения давления в компрессоре по максимуму удельной работы и КПД. Использование теплоты уходящих газов для внешних нужд. Техничко-экономические показатели турбины и методы их повышения. Применение газотурбинных установок в отраслях народного хозяйства. Схемы ГТУ, технико-экономические показатели, вопросы техники безопасности, охраны труда и окружающей среды.

Компрессорные установки. Поршневые компрессоры. Использование сжатого воздуха. Устройство и работа поршневого компрессора. Коэффициенты полезного действия. Многоступенчатые компрессоры. Турбокомпрессоры и турбовоздуходувки. Многоступенчатые, центробежные и осевые машины. Процессы сжатия в турбокомпрессорах и турбовоздуходувках. Изобарный, изотермический и политропный КПД.

Вентиляторы. Назначение, основные характеристики и принцип действия центробежных и осевых вентиляторов. Потери и КПД. Эффективная и полезная мощности вентиляторов. Выбор вентиляторов, их регулирование и совместная работа.

Тема 4.4. Тепловые электрические станции (ТЭС).

Типы электростанций и их роль в развитии энергетики страны. Классификация ТЭС. Паротурбинные конденсационные станции (КЭС, ГРЭС) и электростанции с комбинированной выработкой теплоты и электрической энергии, их принципиальная схема и показатели тепловой эффективности. Регенеративный подогрев воды. Теплофикация, ее роль в развитии энергетики. Дизельные электростанции. Атомные электростанции

2.4.2. Методические указания по его изучению

Изучение темы начните с вопроса о составе топлива и теплоте его сгорания.

Уясните различие между низшей и высшей теплотой сгорания и методику их пересчета при переходе от одной массы топлива к другой; структуру формулы Менделеева для расчетного определения теплоты сгорания твердого и жидкого топлива.

Ознакомьтесь с основными характеристиками жидкого, газообразного и твердого топлива. Горение — сложный физико-химический процесс высокотемпературного окисления горючих элементов топлива: углерода, водорода и серы. Разберитесь в балансовых расчетах процесса горения топлива, в которых используются резульативные реакции соединения горючих составляющих и окислителя.

При рассмотрении процесса горения газового топлива разберитесь в действительном механизме горения топлива, уясните роль энергии активации, механизм цепных реакций и их роль. Уясните особенности ламинарного и турбулентного горения газозоудшной смеси, а также принципиальные схемы горелок для газообразного топлива.

Котельная установка — это комплекс устройств и агрегатов для получения пара или горячей воды за счет сжигания топлива, состоящий из

котельного агрегата и вспомогательного оборудования. Ознакомьтесь с типами котельных установок, характеристиками паровых и водогрейных котлов.

Изучите схему котельной установки. При изучении конструкции котлов и их работы следует обратить особое внимание на котлы, применяемые в сельском хозяйстве, а именно: на котлы-парообразователи типа КМ, КВ, Д-721А, Д-900 производительностью 100—1500 кг пара в час, а также на котлы типа ДКВР паропроизводительностью от 2,5 до 20 т/ч, которые в настоящее время успешно применяются и найдут еще более широкое применение для нужд сельскохозяйственного производства.

При изучении теплового расчета котельного агрегата обратите внимание на методику составления его теплового баланса и расчета теплообмена в топке. Запомните, что общий коэффициент теплоотдачи газов складывается из коэффициента конвективной теплоотдачи и коэффициента теплоотдачи лучеиспусканием. Уясните различие между определением коэффициента теплопередачи для испарительной части котлоагрегата, пароперегревателя, водяного экономайзера и воздухоподогревателя и чем эта разница обусловлена. Разбирая вопросы теплообмена в топке и газоходах котельного агрегата, следует проанализировать пути интенсификации передачи теплоты, а также причины, ограничивающие рост коэффициента теплопередачи в различных поверхностях нагрева.

При изучении темы «Тепловые двигатели» уделите внимание тепловым процессам, протекающим в двигателях внутреннего сгорания, обратите внимание на основные различия бензиновых двигателей и дизелей, а также особенностям работы двигателей на газовом топливе.

При изучении паровых и газовых турбин уделите внимание уравнению теплового баланса турбин, методам повышения их эффективности.

Компрессорные машины предназначены для перемещения рабочего тела и повышения его давления. Ознакомьтесь с принципом работы компрессора, его устройством и классификацией компрессорных машин. Уясните формулы для определения мощности, потребляемой охлаждаемыми и неохлаждаемыми компрессорами, обратите внимание на понятия полного адиабатного и изотермического КПД компрессора.

Обратите внимание на основные различия в принципе работы осевых и центробежных вентиляторов.

2.4.3. Вопросы для самоконтроля

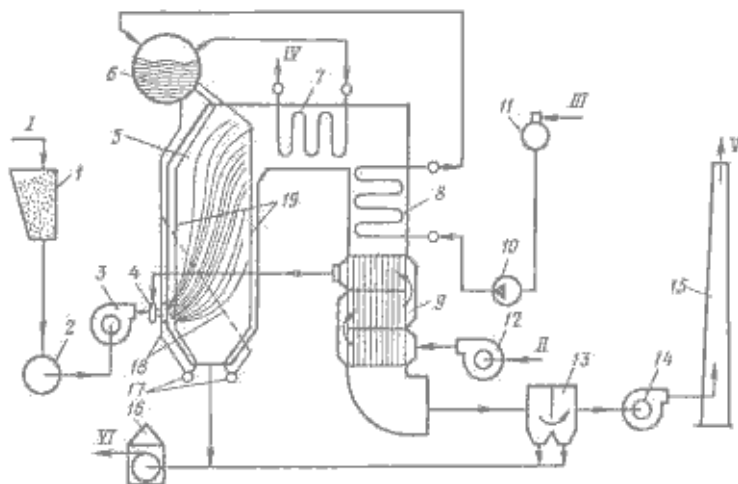
1. Что называется высшей и низшей теплотами сгорания топлива?
2. Как определяют количество воздуха, необходимого для горения топлива?
3. Что понимают под скоростью гомогенной реакции?
4. Какова принципиальная схема компоновки оборудования современной котельной?
5. Какие существуют способы сжигания топлива в топках паровых котлов? Какие существуют типы котельных топок?

6. Напишите уравнение теплового баланса котла и охарактеризуйте каждую составляющую баланса.
7. Приведите классификацию тепловых двигателей и дайте краткую характеристику тепловых двигателей.
8. В чем отличие двухтактного и четырехтактного двигателей внутреннего сгорания?
9. Расскажите о процессах, протекающих в сопловом аппарате и на лопатках паровой турбины.
10. Расскажите о классификации компрессорных машин и принципе работы компрессора.

2.4.4. Задания для самостоятельной работы

1. Низшая теплота сгорания топлива определяется с учетом:
 - 1) теплоты, затраченной на испарение влаги, содержащейся в топливе,
 - 2) теплоты, затраченной на испарение влаги, образующейся при сгорании водорода топлива,
 - 3) теплоты, затраченной на испарение влаги, содержащейся в топливе и образующейся при сгорании водорода топлива.
2. Установите соответствие процессов горения:

1) гомогенное горение	а) характеризует систему «газ-газ»;
2) гетерогенное горение	б) характеризует систему «твердое тело-газ» или «жидкость-газ».
3. На схеме котельной установки укажите топку, барабан котла, пароперегреватель, экономайзер и воздухоподогреватель.



4. Деаэраатор предназначен
 - 1) для удаления механических примесей из питательной воды;
 - 2) для удаления растворенных в питательной воде коррозионно-активных газов;
 - 3) для удаления из воды солей жесткости.
5. Установите соответствие

1) индикаторной мощностью	а) мощность, затрачиваемая на совершение полезной работы,
2) эффективной мощностью	б) мощность, развиваемая газами внутри цилиндров двигателя.
6. На тепловых электростанциях в мире вырабатывается
 - 1) 65% от всей производимой электроэнергии,

2) 80 % всей производимой электроэнергии,

3) 90 % всей производимой электроэнергии.

7. Установите соответствие

1) конденсационная электрическая станция а) вырабатывает электрическую энергию, горячую воду и пар,

2) теплоэлектроцетраль б) вырабатывает только электрическую энергию.

2.5. Модуль 5. Применение теплоты в сельском хозяйстве.

2.5.1. Содержание модуля 5.

Тема 5.1. Теплоснабжение предприятий сельского хозяйства. Особенности использования теплоты в сельском хозяйстве.

Характеристика систем теплоснабжения. Основные потребители теплоты на сельскохозяйственных предприятиях. Структура потребления теплоты на с.-х. предприятиях. Определение расходов теплоты на технологические и вспомогательные нужды, горячее водоснабжение, отопление и вентиляцию. Суточные и годовые графики потребления теплоты на с.-х. предприятиях. Расчет и подбор основных элементов систем теплоснабжения. Пути повышения эффективности систем теплоснабжения. Себестоимость производства единицы теплоты и пара. Снижение удельных расходов теплоты и топлива. Техника безопасности, охрана труда и окружающей среды при эксплуатации систем теплоснабжения.

Тема 5.2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

Отопление. Температура зданий и их тепловая характеристика. Источники тепловыделений. Тепловой баланс помещений. Дежурное отопление. Расчет поверхности нагрева отопительных приборов. Вентиляция. Классификация и основные элементы систем вентиляции. Воздухообмен, кратность вентиляции. Определение производительности вентиляционных систем. Определение расхода теплоты. Расчет поверхности нагрева калорифера. Кондиционирование воздуха. Сущность и задачи кондиционирования. Системы кондиционирования воздуха. Охлаждение, нагревание, осушение и увлажнение воздуха. Рециркуляция. Расчет процессов кондиционирования с помощью H-d диаграммы.

Тема 5.3. Теплоснабжение защищенного грунта. Конструкции теплиц и парников.

Тема 5.4. Сушильные установки.

Общие сведения. Основные типы процессов сушки. Процессы сушки на предприятиях отрасли. Основные элементы сушильной установки. Сушилки периодического и непрерывного действия. Влага материала. Равновесная влажность. Максимальная и гигроскопическая влажность материала. Тепло- и массоперенос в процессе сушки. Кинетика сушки. Кривые сушки. Кривые скорости сушки. Термограмма сушки. Поля влагосодержаний и температур в зависимости от способа сушки. Типы сушильных установок. Тепловой расчет сушильных установок. Сушильный процесс для теоретической и действительной сушилок. Техничко-экономические показатели сушилок.

Техника безопасности.

Тема 5.5. Холодильные установки. Применение холода в сельском хозяйстве. Трансформаторы теплоты. Потребители холода в отрасли. Физическая сущность процессов охлаждения. Основы получения искусственного холода. Классификация холодильных машин и установок. Холодильные агрегаты, их основные характеристики. Воздушные и паровые компрессорные холодильные машины. Пароэжекторные и абсорбционные холодильные установки. Холодильные установки с гелионагревателями. Действительная холодопроизводительность установки. Тепловые насосы и трансформаторы теплоты. Применение трансформаторов теплоты и тепловых насосов в сельском хозяйстве.

2.5.2. Методические указания по его изучению

Современное сельское хозяйство является крупным потребителем тепловой энергии: теплота используется как для ведения технологических процессов, таких, как сушка различных сельскохозяйственных продуктов и, прежде всего, зерна, тепловая обработка кормов, пастеризация молока и др., так и для отопления и вентиляции различных животноводческих, производственных и культурно-бытовых помещений.

При переводе сельскохозяйственного производства на промышленную основу использование тепловой энергии непрерывно возрастает, но доля ее в себестоимости сельскохозяйственной продукции еще велика. В стоимости производства тепловой энергии в сельском хозяйстве большую часть составляют расходы на топливо и на оплату обслуживающего персонала.

Увеличение производства тепловой энергии должно быть связано с одновременным сокращением удельных расходов топлива и затрат труда, а это возможно лишь при использовании современного теплотехнического оборудования, оснащенного средствами автоматики, при правильном выборе рациональных схем теплоснабжения.

Обратите внимание на специфику теплоснабжения в сельском хозяйстве, современные теплоэнергетические установки и способы повышения их экономичности, на источники тепловой энергии в сельском хозяйстве.

При изучении раздела «Основы теории тепло- и массообмена» вы уже ознакомились с основными видами переноса теплоты и массы. Необходимо обратить внимание на основы теплофизики процессов переноса теплоты, влаги и воздуха в конструкциях и помещениях зданий различного сельскохозяйственного назначения. Учитывая, что механизм переноса теплоты и массы различен, нужно знать для изучения этих различий теплофизические константы переноса и внешние движущие силы, вызывающие и поддерживающие перенос теплоты, воздуха и влаги.

Ознакомьтесь с методами расчета количества теплоты, необходимой для поддержания оптимальной (расчетной), температуры в помещении; здесь нужно учесть, что теплота, выделяемая животными, является активной частью теплового баланса в животноводческом помещении. Уясните, как происходит взаимный теплообмен между животными и поверхностями ограждений

помещения, как передается теплота в толще ограждений. Конструкции здания могут быть плотными и пористыми, поэтому важно знать, какие из них лучше проводят теплоту, а какие активно переносят холодный воздух или влагу. Необходимо учитывать влияние ветра на перенос холодного воздуха через ограждения и на передачу теплоты, так как это оказывает влияние на микроклимат в сельскохозяйственном помещении.

При изучении раздела о системах отопления, вентиляции и кондиционирования особое внимание нужно уделить вопросу подсчета потребного количества теплоты. В основу этого расчета положено уравнение теплового баланса между притоками и расходами (потерями) теплоты. При определении потерь теплоты через ограждающие конструкции здания важно правильно определять коэффициенты теплопередачи того или иного типа ограждений.

Нужно ознакомиться с источниками тепловыделений. Теплотери зданием могут быть определены и по укрупненным показателям, то есть удельным тепловым характеристикам зданий.

Нужно ознакомиться с суточными и годовыми графиками потребления теплоты на отопление, а также с типами и характеристиками нагревательных приборов для систем отопления, тепловым расчетом их площади нагрева, с методикой подбора нагревательных приборов.

Расчет воздухообмена в помещении ведется по различным видам вредных выделений — по избыткам теплоты, влаги, пыли, вредных газов, поэтому важно знать предельно допустимые концентрации вредных выделений в воздухе различных сельскохозяйственных помещений.

При изучении основных процессов кондиционирования воздуха важно научиться пользоваться $H-d$ диаграммой влажного воздуха с тем, чтобы строить в ней графики изменения параметров состояния влажного воздуха для зимнего и летнего режимов работы кондиционеров. Ознакомьтесь с системами кондиционирования и конструкциями кондиционеров.

В нашей стране широкое распространение получила система централизованного теплоснабжения, но в сельской местности централизованное теплоснабжение не всегда экономически оправдано, поэтому целесообразно использование местных систем отопления в некоторых случаях. Ознакомьтесь с центральными системами отопления: водяного отопления с естественной и принудительной циркуляцией и парового отопления низкого и высокого давления; уясните преимущества и недостатки этих двух систем отопления.

Изучите системы и принципиальные схемы горячего водоснабжения, учитывая, что совмещенные системы отопления и горячего водоснабжения перспективны для централизованного теплоснабжения сельских населенных пунктов. Уясните основы расчета систем горячего водоснабжения и расчета водоподогревателей.

Высокие требования предъявляются к микроклимату животноводческих и птицеводческих помещений, так как от него в значительной степени зависит

продуктивность животных. Поэтому важно знать требования, предъявляемые к микроклимату, воздухообмену в помещении.

Ознакомьтесь со схемами отопительно-вентиляционных систем и основами расчета систем отопления и вентиляции, с основами автоматического регулирования микроклимата животноводческих помещений. Уясните, из каких статей складывается расход теплоты на животноводческих и птицеводческих фермах и комплексах, какие схемы теплоснабжения могут быть использованы.

При изучении вопроса теплоснабжения теплично-парникового хозяйства надо ознакомиться с основными конструкциями теплиц и парников, режимами их работы, со способами поддержания в них нормальных климатических условий, с суточными графиками потребления теплоты.

Источниками теплоснабжения теплиц и парников могут быть как собственные котельные, так и тепловые отходы промышленных предприятий и теплота ТЭЦ, а также термальные воды. Необходимо ознакомиться со схемами использования отходов теплоты для обогрева теплиц и парников. Уделите внимание системам автоматического регулирования теплового режима в культивационных сооружениях: поддержание необходимой температуры воздуха и почвы, влажности и содержания углекислоты.

Процессам тепловой сушки зерна и других сельскохозяйственных продуктов отводится значительное место в сельскохозяйственном производстве. Удаление влаги из материала путем ее испарения - сложный термический процесс. Составными частями учения о процессах сушки являются: теория тепло- и массообмена, механизм и кинетика сушки.

Ознакомьтесь с классификациями сушильных установок по способу подвода теплоты, принципу действия, конструктивному оформлению и другим особенностям.

Основное распространение получили конвективные сушильные установки, в которых сушка материала осуществляется за счет теплоты, полученной им при соприкосновении с сушильным агентом (с горячим воздухом или топочными газами).

В основу теплового расчета сушки положены уравнения материального и теплового баланса, по которым определяется количество влаги, удаляемой в процессе сушки, расход воздуха для сушки и необходимое количество теплоты.

Необходимо уметь пользоваться $H-d$ - диаграммой влажного воздуха и применять ее при расчетах основных процессов сушки.

Большое значение имеет правильный выбор параметров процесса сушки: температуры и скорости теплоносителя, времени сушки, максимально допустимого влагосъема. Например, при сушке семян температура теплоносителя определяется термостойкостью семян, то есть допустимой температурой их нагрева. Ознакомьтесь с тепловыми режимами сушки семенных культур, зерна, фруктов и овощей, сена и других сельскохозяйственных продуктов

Современное сельское хозяйство является не только потребителем тепловой энергии, но и холода. В качестве источников холода используются естественный и искусственный лед, артезианская вода, холодильные машины.

Ознакомьтесь со способами охлаждения, а также с заготовкой, хранением и использованием естественного и искусственного льда. При изучении холодильных машин необходимо вспомнить определение второго закона термодинамики, согласно которому теплоту от менее горячего тела невозможно передать более горячему телу без затраты механической работы. Это положение является основой термодинамического цикла холодильной установки.

Изучение принципа машинного охлаждения необходимо начать с рассмотрения обратного цикла Карно, а затем показать отличие от него действительного цикла компрессионных холодильных установок, то есть приступить к рассмотрению принципа работы компрессионных, а затем абсорбционных холодильных установок. Нужно уметь определять холодопроизводительность холодильных установок, уяснить требования, предъявляемые к холодильным агентам.

При выборе холодильного оборудования потребуется знание существующих типов холодильных установок, используемых в сельском хозяйстве.

При изучении принципа работы тепловых насосов необходимо рассмотреть режимы нагревания и охлаждения теплоносителя, используемого для обеспечения оптимального микроклимата в помещениях в летний и зимний периоды года, а также способы перевода теплового насоса с одного режима на другой.

2.5.3. Вопросы для самоконтроля

1. Как подсчитываются теплотери через ограждающие конструкции зданий?
2. Как определяют теплотери зданиями по укрупненным показателям?
3. Назовите основные способы возмещения теплотерь сельскохозяйственных помещений?
4. Как производится подбор отопительных приборов?
5. Каковы основные задачи систем вентиляции и кондиционирования?
6. Какие требования предъявляют к микроклимату в животноводческих и птицеводческих помещениях?
7. Как подсчитать необходимое количество воздуха для общеобменной вентиляции?
8. Какие системы вентиляции применяются в животноводческих помещениях?
9. Каковы преимущества и недостатки парового отопления по сравнению с водяным?
10. Какие источники теплоты применяются для теплоснабжения тепличных и парниковых хозяйств?
11. Приведите принципиальную схему конвективной сушилки.
12. Как составить материальный и тепловой балансы сушильной камеры?

13. Чем отличается действительный цикл компрессорной холодильной установки от обратного цикла Карно?

2.5.4. Задания для самостоятельной работы

1. Микроклимат помещения определяется

- 1) физиологическими факторами;
- 2) метеорологическими факторами;
- 3) техническими факторами;
- 4) всеми перечисленными факторами.

2. Тепловые потери животноводческого помещения состоят из

- 1) потерь теплоты через ограждающие конструкции помещения,
- 2) потерь теплоты на испарение влаги,
- 3) потерь теплоты на инфильтрацию воздуха;
- 4) из всех перечисленных потерь.

3. Установите соответствие

- 1) система с естественной вентиляцией а) воздух подается вентилятором,
- 2) система с принудительной вентиляцией б) воздух подается и удаляется за счет разности плотностей воздуха внутри помещения и снаружи.

4. Расход теплоты на кормоприготовление складывается

- 1) из расхода теплоты на запаривание корнеплодов,
- 2) из расхода теплоты на нагрев кормозапарника,
- 3) из потерь теплоты в окружающую среду за счет теплообмена стенок кормозапарника,
- 4) из потерь теплоты с паром, уходящим через неплотности.

5. Назовите способы тепловой сушки

- 1) прессование, 2) конвективный способ, 3) центрифугирование,
- 4) сорбционный способ, 5) радиационный способ.

6. Выберите основные элементы компрессорной холодильной машины:

- 1) компрессор, 2) абсорбер, 3) кипятильник, 4) испаритель, 5) конденсатор, 6) расширительное (дрессельное) устройство.

7. Выберите основные элементы абсорбционной холодильной машины:

- 1) компрессор, 2) абсорбер, 3) кипятильник, 4) испаритель, 5) конденсатор, 6) расширительное (дрессельное) устройство.

Раздел 3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Общие указания

Контрольная работа должна выполняться студентом после изучения всего курса.

Контрольная работа состоит из 6 задач, задания к каждой из них представлены в 19 вариантах. Студент выбирает в таблицах 3.1 – 3.6 тот вариант задания, который соответствует сумме двух последних цифр его учебного шифра.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие

требования:

- а) обязательно записать условие задачи;
- б) решение сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором должно быть указано, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу (из условия задачи, из справочника, определена ранее и т. д.);
- в) вычисления давать в развернутом виде;
- г) обязательно проставлять размерности всех заданных и расчетных величин в международной системе СИ;
- д) графический материал должен быть выполнен четко в масштабе на миллиметровой бумаге.
- е) в конце каждой задачи дать ответ на контрольный вопрос.

После решения задачи должен быть произведен краткий анализ полученных результатов и сделаны соответствующие выводы.

В конце работы дать перечень использованной литературы.

Контрольная работа может выполняться в учебной тетради или на сброшированных листах бумаги формата А4 в рукописном виде. Допускается работа, выполненная компьютерным текстом.

3.1. Задания для контрольной работы

Задача 1. В процессе изменения состояния 1 кг газа внутренняя энергия его увеличивается (или уменьшается) на Δu . При этом над газом совершается работа (или газ совершает работу), равная l . Начальная температура газа $-t_1$, конечное давление p_2 .

Определить для заданного газа показатель политропы n , начальные и конечные параметры, изменение энтропии Δs и изменение энтальпии Δh . Представить процесс в p - v и T - s — диаграммах. Изобразить также (без расчета) изобарный, изохорный, изотермический и адиабатный процессы, проходящие через ту же начальную точку, и дать их сравнительный анализ. Данные для расчетов взять из таблицы 3.1.

Контрольный вопрос. Какова общая формулировка и математическое выражение первого закона термодинамики?

Таблица 3.1 – исходные данные для задачи 1

Сумма двух последних цифр шифра	Δu , кДж/кг	l , кДж/кг	t_1 , °C	p_2 , МПа	Род газа
0	150	-200	17	2,0	N ₂
1	150	-210	18	2,1	O ₂
2	150	-220	19	2,3	Воздух
3	160	-220	20	2,2	H ₂
4	160	-230	21	2,5	CO
5	160	-230	22	2,4	CO ₂
6	170	-240	23	2,6	CH ₄
7	170	-240	24	2,7	H ₂ O

8	170	-250	25	2,8	NH ₃
9	-170	250	2100	0,11	NH ₃
10	-170	250	2050	0,12	H ₂ O
11	-170	240	2000	0,13	CH ₄
12	-160	240	1975	0,14	CO ₂
13	-160	230	1950	0,14	CO
14	-160	230	1900	0,13	H ₂
15	-150	220	1850	0,12	Воздух
16	-150	220	1820	0,11	O ₂
17	-140	210	1800	0,13	N ₂
18	-140	210	1780	0,14	CO ₂

Задача 2. Определить параметры (p , v , T) рабочего тела в характерных точках идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с изохорно-изобарным подводом теплоты (смешанный цикл), если известны давление p_1 и температура t_1 рабочего тела в начале сжатия. Степень сжатия ε , степень повышения давления λ , степень предварительного расширения ρ заданы. Показатель политропы сжатия равен n_1 , показатель политропы расширения равен n_2 .

Определить подведенную и отведенную в цикле теплоты, полезную работу цикла, его термический КПД и изменение энтропии отдельных процессов цикла. За рабочее тело принять воздух, считая теплоемкость его в расчетном интервале температур постоянной.

Построить на «миллиметровке» в масштабе этот цикл в координатах p - v и T - s . Дать к полученным диаграммам соответствующие пояснения. Данные для расчетов взять из таблицы 3.2.

Контрольный вопрос. В чем смысл второго закона термодинамики?

Таблица 3.2 – исходные данные для задачи 2

Сумма двух последних цифр шифра	p_1 , МПа	t_1 , °C	ε	λ	ρ	n_1	n_2
0	0,1	15	14	1,7	1,6	1,26	1,4
1	0,1	16	14	1,8	1,5	1,27	1,4
2	0,1	17	14	1,9	1,4	1,28	1,4
3	0,1	18	15	1,7	1,6	1,29	1,4
4	0,1	19	15	1,8	1,5	1,30	1,4
5	0,1	20	15	1,9	1,4	1,31	1,39
6	0,1	21	16	1,7	1,6	1,32	1,38
7	0,1	22	16	1,8	1,5	1,33	1,37
8	0,1	23	16	1,9	1,4	1,34	1,36
9	0,1	24	17	1,7	1,6	1,35	1,35
10	0,1	25	17	1,8	1,5	1,36	1,34
11	0,1	26	17	1,9	1,4	1,37	1,33
12	0,1	27	18	1,7	1,6	1,38	1,32

13	0,1	28	18	1,8	1,5	1,39	1,31
14	0,1	29	18	1,9	1,4	1,4	1,30
15	0,1	30	19	1,7	1,6	1,4	1,29
16	0,1	31	18	1,8	1,5	1,4	1,28
17	0,1	32	17	1,9	1,4	1,4	1,27
18	0,1	33	16	1,8	1,4	1,4	1,26

Задача 3. Определить потери теплоты за 1 час с 1 м длины горизонтально расположенной цилиндрической трубы, охлаждаемой свободным потоком воздуха, если известны наружный диаметр d трубы, температура стенки трубы t_{cm} и температура воздуха t_{θ} в помещении. Данные для расчетов взять из таблицы 3.3.

Контрольный вопрос. Какими основными безразмерными числами (критериями) подобия определяется конвективная теплоотдача и каков физический смысл этих чисел подобия?

Таблица 3.3 – исходные данные для задачи 3

Сумма двух последних цифр шифра	d , мм	t_{cm} , °C	t_{θ} , °C
0	100	38	-10
1	100	39	-9
2	100	40	-8
3	100	41	-7
4	120	42	-6
5	120	42	-5
6	120	44	-4
7	120	45	-3
8	130	46	-2
9	130	47	-1
10	130	48	0
11	140	49	1
12	150	50	2
13	150	51	3
14	150	52	4
15	150	53	5
16	140	54	6
17	130	55	7
18	120	56	8

Задача 4. Определить площадь поверхности нагрева газовойводяного рекуперативного теплообменника, работающего по противоточной схеме. Греющий теплоноситель – дымовые газы с начальной температурой $t_{г}'$ и конечной $t_{г}''$. Расход воды через теплообменник — $G_{в}$, начальная температура воды – $t_{в}'$, конечная – $t_{в}''$. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы - $\alpha_{г}$ и от стенки трубы к воде $\alpha_{в}$. Теплообменник выполнен из стальных труб с внутренним диаметром $d = 50$ мм и толщиной стенки $\delta = 1$ мм. Коэффициент теплопроводности стали $\lambda = 62$ Вт/(м·К). Стенку считать чистой с обеих сторон. Данные для расчетов взять из таблицы 3.4.

Определить также поверхности теплообмена при выполнении теплообменника по прямоточной схеме и при сохранении остальных параметров неизменными.

Для обеих схем движения теплоносителя (противоточной и прямоточной) показать без расчета графики изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена. Указать преимущества противоточной схемы.

Контрольный вопрос. Объясните физический смысл коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи. От каких факторов зависит их величина?

Таблица 3.4 – исходные данные для задачи 4

Сумма двух последних цифр шифра	$\alpha_{г}$, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_{в}$, Вт/(м ² ·К)	$G_{в}$, кг/ч	$t_{в}'$, °С	$t_{в}''$, °С	$t_{г}'$, °С	$t_{г}''$, °С
0	35	635	1500	10	110	650	450
1	36	640	1550	10	110	650	450
2	37	645	1600	100	110	660	460
3	38	650	1650	12	113	660	460
4	39	655	1700	12	113	670	470
5	40	660	1750	13	113	670	470
6	41	665	1800	13	115	680	480
7	42	670	1850	14	115	680	480
8	43	675	1900	15	115	690	490
9	44	680	1950	15	118	690	490
10	45	685	2000	16	118	700	500
11	46	690	2050	16	118	700	500
12	47	695	2100	17	120	710	510
13	48	700	2150	18	120	710	510
14	49	705	2200	18	120	720	520
15	50	710	2250	19	120	720	520
16	51	715	2300	19	125	730	530
17	52	720	2350	20	135	730	530
18	53	725	2400	20	125	740	540

Задача 5. Определить высшую и низшую теплоты сгорания топлива по известному рабочему составу, действительное количество воздуха для сгорания 1 кг топлива и массовый расход продуктов сгорания топлива, если известен коэффициент α избытка воздуха. Данные для расчета взять из таблицы 3.5.

Контрольный вопрос. Как производится определение теплоты сгорания топлива опытным путем?

Таблица 3.5 - Исходные данные для задачи 5

Сумма двух последних цифр шифра	Примерный состав топлива, %	Коэффициент α избытка воздуха
0	C_7H_{16}	0,85
1	C_8H_{18}	0,9
2	C_9H_{20}	1,0
3	$C_{10}H_{22}$	1,10
4	$C_{11}H_{24}$	1,15
5	C=84,5%, H=14,4%, S=0,4%; O=0,7%	1,3
6	C=85,5%, H=13,9%, S=0,2%; O=0,4%	1,35
7	C=84,5%, H=14,4%, S=0,4%; O=0,7%	1,4
8	C=85,0%, H=13,9%, S=0,5%; O=0,4%	1,45
9	C=85,5%, H=13,9%, S=0,2%; O=0,4%	1,5
10	C_7H_{16}	1,1
11	C_8H_{18}	1,05
12	C_9H_{20}	1,2
13	$C_{10}H_{22}$	1,22
14	$C_{11}H_{24}$	1,2
15	C=85,8%, H=13,6%, S=0,2%; O=0,4%	1,5
16	C=84,5%, H=14,4%, S=0,4%; O=0,7%	1,35
17	C=85,0%, H=13,9%, S=0,5%; O=0,4%	1,45
18	C=85,5%, H=13,9%, S=0,2%; O=0,4%	1,45

Задача 6. Определить количество удаленной влаги W , потребное количество воздуха L и расход теплоты на сушку Q для конвективной зерносушилки производительностью G_1 , если начальное значение относительной влажности зерна w_1 и конечное w_2 , влагосодержание d_1 и температура воздуха t_1 на входе в сушилку, влагосодержание d_2 и температура воздуха t_2 на выходе из сушилки, температура наружного воздуха $t_0 = 15$ °С. Данные для расчетов взять из таблицы 3.5.

Изобразить процесс сушки в $H-d$ диаграмме влажного воздуха.

Контрольный вопрос. Как определяется тепловой режим сушки различных сельскохозяйственных продуктов?

Таблица 3.6– исходные данные для задачи 6

Сумма двух последних цифр шифра	G_1 , кг/ч	d_1 , г/кг с.в.	t_1 , °C	d_2 , г/кг с.в.	t_2 , °C	w_1 , %	w_2 , %
0	100	25	140	35	70	35	27
1	150	25	140	34	69	34	26
2	200	25	140	33	68	33	25
3	250	25	140	32	67	32	24
4	300	25	130	37	66	31	23
5	350	25	130	36	65	30	22
6	400	25	130	35	64	35	27
7	450	25	130	34	63	34	26
8	500	25	120	32	62	33	25
9	550	25	120	31	61	32	24
10	600	25	120	30	60	31	23
11	650	25	120	39	59	30	22
12	700	25	110	38	58	35	27
13	750	25	110	37	57	34	26
14	800	25	110	36	56	33	25
15	850	25	110	35	56	32	24
16	900	25	100	34	54	31	23
17	950	25	100	33	53	30	22
18	1000	0,025	100	32	52	29	21

3.3. Рекомендации по выполнению контрольной работы

Задача 1. Материал для выполнения задачи изложен в [1] на стр. 5 – 39 или в [5] на стр. 5-31 .

Показатель политропы процесса может быть определен из формулы работы политропного процесса

$$l=R(T_1 - T_2)/(n - 1)$$

или из формулы теплоты политропного процесса

$$q=c_n(T_2 - T_1) .$$

Теплоемкость газа в любом политропном процессе

$$c_n = \frac{c_v \cdot (n - k)}{n - 1},$$

где c_v – массовая изохорная теплоемкость газа, кДж/(кг·К),

n – показатель политропы процесса,

k – показатель адиабаты, среднее его значение:

для двухатомных газов $k = 1,4$;

для многоатомных газов $k = 1,3$.

Разность конечной и начальной температуры газа в политропном процессе может быть вычислена из формулы для определения изменения внутренней энергии газа

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1).$$

При определении теплоемкостей газа в термодинамических процессах можно принимать среднее ее значение, пренебрегая зависимостью теплоемкости от температуры. Например, можно считать молярные теплоемкости газа в заданном политропном процессе постоянными, зависящими только от числа атомов в молекуле газа.

Так для всех двухатомных газов молярные теплоемкости равны:

в изохорном процессе $\mu c_v \approx 21$ кДж/(моль·К),

в изобарном процессе $\mu c_p \approx 29,3$ кДж/(моль·К);

Для всех многоатомных газов молярные теплоемкости равны:

в изохорном процессе $\mu c_v \approx 29,3$ кДж/(моль·К),

в изобарном процессе $\mu c_p \approx 37,6$ кДж/(моль·К).

Массовая теплоемкость газа может быть вычислена по формуле

$$C_n = \frac{\mu c_n}{\mu}, \text{ кДж/(кг·К)},$$

где μ – молярная масса газа, кг.

Задача 2. Материал для выполнения задачи изложен в [1] на стр.39 – 48, или [5] на стр 32-43, 75-79. Идеальный цикл двигателя внутреннего сгорания (ДВС) состоит из 5 процессов:

- процесса адиабатного или политропного сжатия рабочего тела,
- изохорного процесса подвода теплоты от горячего источника теплоты,
- изобарного процесса подвода теплоты к рабочему телу от горячего источника теплоты,
- процесса адиабатного или политропного расширения рабочего тела,
- изохорного процесса отвода теплоты от рабочего тела к холодному источнику теплоты.

Задача 3. Материал для выполнения задачи изложен в [1] на стр. 94 – 104.

Расчет коэффициента α теплоотдачи при свободном движении теплоносителя проводить по эмпирическому критериальному уравнению для случая естественной конвекции (свободного движения) теплоносителя

$$Nu = C (Gr \cdot Pr)^m,$$

где Nu – критерий Нуссельта, в который входит искомый коэффициент α теплоотдачи, $Nu = \alpha d / \nu$,

Gr – критерий Грасгоффа,

Pr – критерий Прандтля, его можно принять для воздуха, равным 0,7.

C, m – эмпирические коэффициенты.

Задача 4. Материал по выполнению задачи изложен в [1] на стр.105 – 111.

Задача 5. Материал по выполнению задачи изложен в [1] на стр. 112-151.

Задача 6. Материал по выполнению задачи изложен в [1] на стр. 80-91, 177 –182 или [5] на стр. 340-367.

Содержание

Раздел 1. Общие методические указания по изучению дисциплины

1.1. Цели и задачи дисциплины

1.2. Библиографический список

1.3. Таблица распределения учебного времени по модулям (разделам) дисциплины

Раздел 2. Содержание учебных модулей дисциплины и методические указания по их изучению

2.1. Модуль 1. Введение. Техническая термодинамика

2.2. Модуль 2. Термодинамические циклы

2.3. Модуль 3. Теория теплообмена

2.4. Модуль 4. Промышленная теплотехника

2.5. Модуль 5. Применение теплоты в сельском хозяйстве

Раздел 3. Задания для контрольной работы и методические указания по ее выполнению

3.1. Общие указания

3.2. Задания для контрольной работы

3.3. Указания по выполнению контрольной работы