

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Департамент научно-технологической политики и образования  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волгоградский государственный аграрный университет»

**Теплотехника**  
**методические указания**  
**по изучению дисциплины и задания**  
**для контрольной работы по дисциплине «Теплотехника»**

Волгоград

2020

1

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Студент – заочник, руководствуясь рабочей программой и настоящими методическими указаниями, *самостоятельно* изучает материал, включенный в темы программы дисциплины, по рекомендованным учебникам и учебным пособиями (см. с. 5) .

С целью предварительной ориентации в изучаемом материале студентам в начале семестра читаются установочная и обзорные лекции по основным разделам курса. Отдельные лабораторные работы и практические занятия имеют целью показать прикладной характер материала дисциплины, объем требуемых навыков в использовании справочной литературы и проведении вычислительных работ. Закрепление знаний, полученных студентами в процессе самостоятельного изучения материала курса, осуществляется путем ответов на вопросы и решения задач контрольной работы. При необходимости студенты могут получить индивидуальные или групповые консультации на кафедре «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование» Волгоградского ГАУ.

Самостоятельное изучение материала дисциплины должно быть последовательным, согласно нумерации тем. Содержание той или иной темы желательно увязать с примером ее использования в практике теплотехники. Следует иметь в виду, что математические приемы помогают глубже разобраться в явлениях и процессах, и ни в коем случае не заслоняют их физической сущности.

Как при анализе теоретического материала, так и при выполнении расчетов на лабораторных занятиях и решении задач, необходимо обращать внимание на единицы величин, с которыми производятся математические операции. Надо учитывать, что единица всякой величины, как правило, отражает ее физический смысл и, кроме того, позволяет выявить ошибки в процессе вычислений.

### **Рабочая программа**

#### **Введение**

Предмет теплотехники, место и роль в подготовке дипломированного специалиста. Связь теплотехники с другими дисциплинами учебного плана. Основные исторические этапы становления теплотехники, роль теплотехники в научно-техническом прогрессе. Значение теплотехники в сельскохозяйственном производстве. Проблема экономии топливно-энергетических ресурсов, защита окружающей среды. Основные задачи курса.

### **Раздел I. Техническая термодинамика**

#### **Тема 1. Законы термодинамики**

Предмет технической термодинамики и ее методы. Термодинамическая система. Состояния системы. Основные параметры состояния. Понятие термодинамического процесса. Энергия системы. Теплота и работа как формы передачи энергии. Внутренняя энергия. Энтальпия. Первый закон

термодинамики, его сущность и формулировки. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Второй закон термодинамики, его сущность и основные формулировки. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Энтропия. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Понятие цикла и его термического КПД.

## **Тема 2. Термодинамические свойства рабочих тел**

Газ как рабочее тело. Уравнение состояния идеального газа. Газовые смеси. Способы задания состава газовых смесей. Определение кажущейся молярной массы и газовой постоянной смеси. Теплоемкость. Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянном объеме и давлении. Зависимость теплоемкости от температуры. Средняя и истинная теплоемкости. Теплоемкость смеси газов. Термодинамические процессы, методы их исследования. Политропные процессы. Термодинамический анализ политропного процесса. Термодинамический анализ изопараметрических процессов: изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного. Характерные группы термодинамических процессов. Диаграммы состояния. Реальные газы и пары. Фазовые переходы Водяной пар как рабочее тело. Процессы парообразования в  $pV$  и  $Ts$ -координатах.

## **Тема 3. Термодинамика потока газа**

Особенности движения идеального газа. Уравнение энергии потока газа. Уравнение скорости движения. Параметры торможения. Критические параметры. Движение газа по каналам. Секундный массовый расход газа в каналах. Сопла и диффузоры. Характер изменения параметров по длине сопла. Дросселирование газов, изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля-Томпсона. Температура инверсии. Практическое использование процесса дросселирования.

## **Тема 10. Циклы теплоэнергетических установок**

Термодинамические циклы тепловых машин, оценка их эффективности. Идеальный цикл Карно. Циклы ДВС с изохорным и изобарным подводом тепла. Цикл со смешанным подводом тепла. Термический КПД циклов, их сравнительный анализ. Цикл газотурбинной установки (ГТУ) при изобарном подводе теплоты и его термический КПД. Принципиальная схема паросиловой установки.

## **Тема 11. Циклы компрессоров и холодильных машин**

Классификация компрессоров. Одноступенчатый поршневой компрессор (ОПК), его принцип действия и показатели. Идеальный и действительный циклы ОПК. Работа сжатия. Многоступенчатое сжатие. Распределение давления по ступеням поршневого компрессора. Мощность компрессора. Особенности работы динамического компрессора. Принцип получения низких температур. Обратный цикл Карно. Типы холодильных установок. Хладагенты. Холодильный коэффициент и холодильная мощность. Цикл воздушной холодильной установки. Паровая компрессорная холодильная машина, ее принцип работы и цикл. Понятие о тепловых насосах.

## **Раздел II. Основы теории теплообмена**

### **Тема 4. Теплопроводность**

Основные понятия и определения. Виды теплообмена. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности. Стационарная теплопроводность. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской и цилиндрической стенок. Понятие о нестационарной теплопроводности.

### **Тема 5. Конвективный теплообмен**

Сущность конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи, факторы на него влияющие. Методы определения коэффициента теплоотдачи. Основы теории теплового подобия. Правила подобия. Критерии теплового подобия, их смысл. Критериальные уравнения. Теплоотдача при свободном и вынужденном движениях теплоносителя. Понятие о теплоотдаче при изменении агрегатного состояния теплоносителя.

### **Тема 6. Лучистый теплообмен**

Сущность теплообмена излучением. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Излучение газов. Теплообмен излучением в топках и камерах сгорания. Защита от излучения.

### **Тема 7. Теплопередача и теплообменные аппараты**

Сложный теплообмен. Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи. Теплопередача через плоскую, цилиндрическую и оребренную стенки. Интенсификация теплопередачи. Тепловая изоляция. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Основы расчета теплообменных аппаратов. Средний температурный напор.

## **Раздел III. Теплотехническое обеспечение объектов обитания**

### **Тема 8. Топливо и основы горения**

Понятие топлива. Элементарный состав компонентов топлива и условная химическая формула. Стехиометрическое соотношение компонентов топлива. Коэффициент избытка окислителя. Энергетические характеристики топлив. Механизм горения и воспламенения топлив. Особенности сжигания гомогенных и гетерогенных топлив. Экологические проблемы сжигания топлив. Пути экономии топлив. Альтернативные горючие.

### **Тема 9. Влажный воздух**

Влажный воздух. Основные величины, характеризующие состояние влажного воздуха. Диаграмма  $i-d$  влажного воздуха. Расчет процессов обработки влажного воздуха.

### **Тема 10. Теплоснабжение сельскохозяйственного производства**

Роль теплоты в энергетическом балансе сельского хозяйства. Понятие о системах теплоснабжения бытовых и производственных сооружений. Теплоносители. Котельные установки и топочные устройства. Водогрейные и паровые котлы. Теплогенераторы. Электрические нагреватели. Системы отопления. Источники тепловыделений. Тепловой баланс помещений. Расчет поверхности нагрева отопительных приборов. Системы горячего водоснабжения.

### **Тема 11. Вентиляция и кондиционирование**

Понятие обитаемости бытовых и производственных сооружений. Требования к микроклимату в сельскохозяйственных объектах. Пути и способы создания комфортной среды обитания. Классификация и основные элементы систем вентиляции. Кратность вентиляции. Расчет воздухообмена. Подбор вентиляторов. Системы кондиционирования воздуха. Состав кондиционера и назначение его блоков.

**Заключение.** Основные направления экономии энергоресурсов в сельском хозяйстве. Перспективы использования возобновляемых источников энергии. Проблемы защиты окружающей среды.

### **Литература**

1. Амерханов Р.А. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства. Р.А. Амерханов, А.С. Бессараб, Б.Х. Драганов., С.П. Рудобашта, /Под ред. Б.Х. Драганова. – М.: Колос-Пресс, 2002. – 424 с.: ил.
2. Болотов А.К. Сборник задач по теплотехнике. А.К. Болотов, А.А. Лопарев. – Киров, 2001. – 288 с.
3. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. Б.Х. Драганов, А.В. Кузнецов, С.П. Рудобашта. – М.: Агропромиздат, 1990. – 463 с.: ил.
4. Кошман В.С. Словарь терминов и определений по гидравлике, теплотехнике и газовой динамике. В.С. Кошман, А.Т. Манташов. – П.: ПГСХА, 2013. – 55с.
5. Манташов А.Т. Теплотехника. Часть 1. Термодинамика и теплопередача. Учебное пособие. А.Т. Манташов.– П.: ПГСХА, 2009. – 184 с.
6. Манташов А.Т. Теплотехника. Часть II. Теплотехническое обеспечение обитаемости объектов сельскохозяйственного назначения. Учебное пособие. А.Т. Манташов.– П.: ПГСХА, 2011. – 116 с.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

1. Почему нельзя представить необратимый процесс изменения состояния рабочего тела в координатах  $p\nu$  и  $Ts$ ?

2. Какие условия необходимо соблюдать, чтобы термодинамический процесс был обратимым? что является причиной необратимости реальных термодинамических процессов?
3. Почему внутреннюю энергию, энтальпию и энтропию рабочего тела называют параметрами или функциями состояния, а теплоту и работу — функциями процесса?
4. В чем отличие записи уравнения первого закона термодинамики для цикла (кругового процесса) и для отдельного произвольного процесса изменения состояния рабочего тела?
5. Почему в диапазоне температур  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  не существует термодинамического цикла с термическим к. п. д. большим, чем у цикла Карно?
6. В чем сущность второго закона термодинамики? Покажите его действие на примере любого известного вам теплового двигателя. В чем разница математической записи второго закона термодинамики для обратимого и необратимого процессов?
7. Как доказать, что в  $p$ - $v$ -диаграмме адиабатный процесс расширения 1 кг идеального газа идет более круто, чем изотермический, считая, что начальное состояние газа в обоих случаях одинаково?
8. Пользуясь уравнениями первого закона термодинамики для потока и для закрытой системы, покажите, за счет чего совершаются все виды работы рабочего тела в потоке.
9. Покажите, что изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы являются частными случаями политропного процесса?
10. Как будет изменяться энтропия каждого из тел в изолированной системе, состоящей из теплоотдатчика, теплоприемника и тепловой машины, которая работает по циклу Карно, полагая, что все процессы в системе обратимы?
11. Что такое влажный воздух? какой влажный воздух называется насыщенным и какой ненасыщенным? чему равны при этих состояниях влажного воздуха парциальное давление и температура пара?
12. Что называется абсолютной и относительной влажностью воздуха? Какую температуру называют температурой точки росы? что такое влагосодержание воздуха и как оно определяется?
13. Для чего применяется сопло Лавалю? Изобразите схематически это сопло. Как меняются вдоль сопла давление и скорость газа?
14. Изобразите тепловой процесс в сопле Лавалю в  $ts$ -диаграмме. Приведите уравнения для определения теоретической и действительной скоростей истечения.
15. Приведите определения следующих процессов и понятий: парообразование, конденсация, испарение, кипение, насыщенный пар, влажный и сухой насыщенный пар, перегретый пар.
16. Изобразите на диаграммах  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$  и  $h$ - $s$  изохорный и изотермический процессы превращения влажного насыщенного водяного пара в перегретый. Дайте краткие пояснения.

17. Как с помощью формул и таблиц воды и водяного пара по заданной величине температуры и степени сухости пара определить давление, удельные объем, энтальпию, энтропию и внутреннюю энергию влажного насыщенного пара? Назовите входящие в формулы величины и в каких единицах они выражаются.
18. Изобразите на диаграммах  $p\nu$ ,  $Ts$  и  $hs$  обратимый адиабатный процесс расширения перегретого водяного пара до состояния влажного насыщенного пара. Дайте необходимые пояснения.
19. Изобразите на диаграммах  $p\nu$ ,  $Ts$  и  $hs$  изобарный процесс превращения влажного насыщенного водяного пара в перегретый и обратимый адиабатный процесс сжатия влажного насыщенного водяного пара до состояния перегретого пара. Дайте необходимые пояснения.
20. Изобразите диаграммы  $p\nu$  и  $Ts$  для водяного пара и объясните характерные области, линии и точки, нанесенные на них. Что называется удельной теплотой парообразования? может ли теплота парообразования равняться нулю?
21. Изобразите теоретическую индикаторную диаграмму поршневого компрессора для случаев изотермического и адиабатного сжатия. Покажите на ней площади, которыми изображаются работы наполнения, сжатия и выталкивания. В каком случае работа сжатия больше? для чего применяется охлаждение компрессора?
22. Как определяется термический к. п. д. идеального цикла поршневых двигателей внутреннего сгорания с изохорным и изобарным подводами теплоты? какой из этих к. п. д. при одинаковых максимальных и минимальных температурах в циклах больше и почему?
23. Как влияют в цикле Ренкина давление и температура пара на вход в турбину, а также давление в конденсаторе на величину термического к. н. д. цикла? Для объяснения используйте схемы, изображенные в диаграмме  $hs$ .
24. Изобразите схему паровой компрессорной **холодильной установки**. Опишите кратко принцип ее работы. Изобразите идеальный цикл работы установки в диаграмме  $Ts$ , Чем отличаются паровые компрессорные установки от **абсорбционных**?
25. Изобразите схему газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты и ее цикл в координатах  $p\nu$  и  $Ts$ . Дайте краткие пояснения. Назовите основные методы повышения термического к. п. д. газотурбинной установки.
26. Приведите принципиальную схему паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, и изобразите цикл работы в координатах  $p\nu$  и  $Ts$ .
27. Изобразите схему двухконтурной атомной теплоэнергетической установки и объясните принцип ее действия. В чем состоят принципиальные отличия этой установки от обычных паросиловых установок?
28. Что называется теплофикацией? в чем ее преимущества перед отдельной выработкой тепловой и электрической энергии? каким параметром оценивают экономичность теплоэлектроцентрали?
29. Чем вызвано создание поршневых двигателей внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты? Изобразите идеальный цикл такого двигателя

в диаграммах  $p-v$  и  $T-s$ . Напишите формулу для определения термического к. п. д. этого цикла. Дайте необходимые пояснения.

30. Для чего в паросиловой установке, работающей по циклу Ренкина, применяется вторичный перегрев пара? Изобразите цикл такой установки в диаграмме  $h-s$ . Дайте краткие пояснения.

31. Сформулируйте основной закон теплопроводности (закон Фурье) и приведите его математическое выражение. Объясните физический смысл знака «минус». Что такое тепловой поток и поверхностная плотность теплового потока?

32. Приведите уравнения для поверхностной плотности теплового потока при стационарном распространении теплоты теплопроводностью через трехслойную плоскую стенку. Как определяются температуры между слоями? Покажите распределение температур в этой стенке.

33. В чем состоит разница между линейной и поверхностной плотностями теплового потока при стационарном распространении теплоты теплопроводностью через двухслойную цилиндрическую стенку? как определяется температура между слоями? Покажите распределение температур в этой стенке.

34. В чем разница между линейной и поверхностной плотностями теплового потока при стационарной теплопередаче сквозь цилиндрическую стенку? Что такое граничные условия третьего рода? Покажите характер распределения температур в теплоносителях и разделяющей их стенке.

35. Что такое критериальное уравнение (уравнение подобия) и для чего его применяют? какие теоретические положения лежат в его основе? почему это уравнение называется полуэмпирическим?

36. Объясните характер и причины изменения коэффициента теплоотдачи для случаев нагрева и охлаждения жидкости при свободной конвекции вдоль вертикальной трубы, расположенной в пространстве неограниченного объема. Как это обстоятельство учитывается в критериальном уравнении?

37. Какие особенности теплоотдачи имеют место при кипении жидкости и конденсации пара? что такое критический коэффициент теплоотдачи? какие факторы и как влияют на теплообмен при конденсации?

38. Покажите характер изменения температур рабочих жидкостей при движении их вдоль поверхности нагрева для прямотока и противотока. В каком случае поверхность рекуперативного теплообменника будет меньше и почему?

39. В чем различие излучения газов от излучения твердых тел? возможно ли с помощью одного экрана уменьшить теплообмен в несколько раз?

40. В каких случаях можно применять среднеарифметический температурный напор, а в каких нужно применять среднелогарифмический? в чем особенность средне логарифмического температурного напора при конденсации и испарении жидкости?

Таблица вариантов контрольных заданий ( по последним двум цифрам зачетной книжки)

№ варианта	№№ вопросов						
01	1;11;21;31	26	6;18;30;32	51	1;16;22;36	76	6;13;21;37
02	2;12;22;32	27	7;19;21;33	52	2;17;23;37	77	7;14;22;38
03	3;13;23;33	28	8;20;22;34	53	3;18;24;38	78	8;15;23;39
04	4;14;24;34	29	9;11;23;35	54	4;19;25;39	79	9;16;24;40
05	5;15;25;35	30	10;12;24;36	55	5;20;26;40	80	10;17;25;31
06	6;16;26;36	31	1;14;27;40	56	6;11;27;31	81	1;19;28;35
07	7;17;27;37	32	2;15;28;31	57	7;12;28;32	82	2;20;29;36
08	8;18;28;38	33	3;16;29;32	58	8;13;29;33	83	3;11;30;37
09	9;19;29;39	34	4;17;30;33	59	9;14;30;34	84	4;12;21;38
10	10;20;30;40	35	5;18;21;34	60	10;15;21;35	85	5;13;22;39
11	1;12;23;34	36	6;19;22;35	61	1;17;24;39	86	6;14;23;40
12	2;13;24;35	37	7;20;23;36	62	2;18;25;40	87	7;15;24;31
13	3;14;25;36	38	8;11;24;37	63	3;19;26;31	88	8;16;25;32
14	4;15;26;37	39	9;12;25;38	64	4;20;27;32	89	9;17;26;33
15	5;16;27;38	40	10;13;26;39	65	5;21;28;33	90	10;18;27;34
16	6;17;28;39	41	1;15;29;33	66	6;22;29;34	91	1;20;30;38
17	7;18;29;40	42	2;16;30;34	67	7;23;30;35	92	2;11;21;39
18	8;19;30;31	43	3;17;21;35	68	8;24;21;36	93	3;12;22;40
19	9;20;21;32	44	4;18;22;36	69	9;15;22;37	94	4;13;23;31
20	10;11;22;33	45	5;19;23;37	70	10;16;23;38	95	5;14;24;32
21	1;13;25;37	46	6;20;24;38	71	1;18;26;32	96	6;15;25;33
22	2;14;26;38	47	7;11;25;39	72	2;19;27;33	97	7;16;26;34
23	3;15;27;39	48	8;12;26;40	73	3;20;28;34	98	8;17;27;35
24	4;16;28;40	49	9;13;27;31	74	4;11;29;35	99	9;18;28;36
25	5;17;29;31	50	10;14;28;32	75	5;12;30;36	100	10;19;29;37