



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)



**УТВЕРЖДАЮ**  
**Ректор ВГТУ**

С.А. Колодяжный  
01 2017 г.

Система менеджмента качества

**ПРОГРАММА**

ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПРИ ПРИЕМЕ НА ОБУЧЕНИЕ  
ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ  
КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

**«ЭЛЕКТРО-ТЕПЛОТЕХНИКА»**  
(направление подготовки 13.06.01)

**«ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА»**  
(направленность 01.04.14)

Воронеж 2017



Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО (по программам магистратуры и специалитета)

## **I. Перечень элементов содержания, проверяемых на вступительном испытании по строительным конструкциям**

### *Техническая термодинамика*

1. Предмет изучения термодинамики. Краткие исторические сведения о развитии термодинамики как науки. Особенности технической термодинамики. Феноменологические и статистические методы.

2. Основные понятия термодинамики: термодинамическая система, окружающая среда, макроскопические процессы в системах. Характер внешних воздействий. Изолированная система. Время релаксации. Внутренняя энергия системы. Состояние системы. Термодинамические параметры состояния для термомеханической системы: удельный объем, давление, температура. Уравнение состояния. Обобщение понятия работы.

3. Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости. Уравнение Майера. Коэффициент Пуассона. Физический смысл газовой постоянной.

4. Исторические сведения об открытии первого закона термодинамики. Значение Первого закона термодинамического процесса. Обратимые и необратимые процессы. Уравнение Первого закона термодинамики. Анализ уравнения Первого закона термодинамики: работа, теплота, внутренняя энергия. Энтальпия. Уравнение Первого закона термодинамики для потока.

5. Методика исследования процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатический процесс. Политропный процесс. Особенности политропных процессов.

6. Круговые процессы или циклы. Термический КПД. Цикл Карно. Теорема Карно. Абсолютная шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в обратимых процессах. Доказательство неравенства. Регенеративный цикл. Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропия и термодинамика. Формулировки второго закона термодинамики. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Пределы применимости второго закона термодинамики.

7. Общие положения о характеристических функциях. Характеристические функции: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия и термодинамический потенциал.

8. Значение дифференциальных уравнений термодинамики и основные методы доказательств. Основные дифференциальные уравнения объединенного закона термодинамики. Сравнение Максвелла. Дифференциалы уравнения теплоемкости.



9. Термодинамическое уравнение состояния. Графическое представление термодинамического уравнения состояния. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния реального газа.  $PV$ - $P$  диаграмма. Термические коэффициенты. Калорическое уравнение состояния. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов.

10. Свойства вещества в критической точке. Методы расчета энтропии вещества. Термодинамические диаграммы состояния вещества. Теплоемкость веществ.

11. Основные уравнения процессов истечения: уравнение неразрывности, движения, Первого закона термодинамики, состояния. Скорость звука. Истечение из суживающихся сопел. Переход через скорость звука. Сопло Лавалья. Адиабатные истечения с трением. Общие закономерности течения. Закон обращения воздействий. Температура торможения. Смещение газовых потоков.

12. Дросселирование. Уравнение процесса адиабатного дросселирования. Температура инверсии. Интегральный адиабатный дроссель-эффект. Дросселирование водяного пара.

13. Испарение, кипение, конденсация. Основные определения.  $P$ - $V$ -диаграмма водяного пара. Таблицы водяного пара.  $T$ - $S$ -диаграмма водяного пара.  $I$ - $S$ -диаграмма водяного пара. Графический метод расчета паровых процессов. Теплоемкость перегретого водяного пара. Процесс дросселирования водяного пара.

14. Влажный воздух. Основные определения. Влажосодержание. Абсолютная и относительная влажность.  $I$ - $d$  диаграмма влажного воздуха. Процессы во влажном воздухе.

15. Ограничения превратимости энергии. Эксергия и анергия. Понятие об эксергическом к.п.д.

16. Методы сравнения термических к.п.д. обратимых циклов. Метод коэффициентов полезного действия в анализе необратимых циклов. Энтропийный метод расчета потерь работоспособности в необратимых циклах. Эксергический метод подсчета потерь работоспособности.

17. Компрессоры. Классификация, принцип действия одноступенчатого поршневого компрессора. Цикл одноступенчатого компрессора. Анализ цикла. Объемный к.п.д. Многоступенчатый компрессор. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто. Цикл Дизеля. Цикл Тринклера.

18. Циклы газотурбинных установок. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме. Циклы реактивных двигателей. Определение и классификация. Циклы ВРД. Цикл ЖРД.

19. Теплосиловые паровые циклы. Цикл Карно. Цикл Ренкина. Цикл с промежуточным перегревом пара. Теплофикационные циклы. Регенеративный цикл. Бинарные циклы.



20. Теплосиловые циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию. Цикл МГД-установки.

21. Общие сведения о холодильных установках. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессорной установки.

22. Общие положения. Первый закон термодинамики применительно к химическим реакциям. Теплоты реакций. Закон Гесса и его следствия. Закон Кирхгофа. Второй закон термодинамики и его применение к химическим процессам.

#### *Тепломассообмен*

23. Основные процессы передачи теплоты. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплообмене. Современные проблемы теплоотдачи. Вклад отечественных ученых в развитие изучаемой дисциплины.

24. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона-Рихмана.

25. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Распределение температуры при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку.

26. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через плоскую ребристую стенку. Способы интенсификации процессов теплопередачи. Связь вопросов интенсификации теплопередачи с современными проблемами экономии материальных и энергетических ресурсов и повышением экономичности производства.

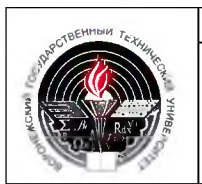
27. Теплопроводность в неограниченной плоской стенке и круглом стержне в случае постоянного и переменного коэффициентов теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты и:

- отводе теплоты через внутреннюю поверхность;
- отводе теплоты через наружную поверхность;
- отводе теплоты через внутреннюю и наружную поверхности.

28. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях третьего рода. Анализ решений. Частные случаи.

29. Основные термины и понятия. Методы решения дифференциальных уравнений в частных производных.

30. Нагревание (охлаждение) параллелепипеда и цилиндра конечной длины. Определение количества теплоты, отдаваемой или воспринимаемой телом в



процессе нестационарной теплопроводности. Регулярный тепловой режим нагревания (охлаждения) тел. Численный метод решения задач нестационарной теплопроводности. Использование ЭВМ.

31. Основные термины и понятия. Метод перемножения значений. Языки программирования, прикладные программы.

32. Теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкости, существенные для процессов течения и теплоотдачи.

33. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях жидкости. Динамический и тепловой пограничные слои. Основные допущения теории плоского пограничного слоя. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена; условия однозначности.

34. Толщина пограничного слоя. Пи-теорема. Приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Критерии подобия. Общие условия подобия физических процессов. Свойства подобных процессов. Сущность моделирования.

35. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению и длине канала. Выбор определяющих размеров и температур.

36. Характер вынужденного неизотермического течения и теплообмена на плоской поверхности. Теплоотдача при ламинарном течении в пограничном слое; метод теоретического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем. Теплоотдача при турбулентном течении в пограничном слое. Осреднение уравнения неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков; коэффициенты турбулентного переноса количества движения и теплоты; метод полуэмпирического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем.

37. Особенности течения теплообмена в трубах. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизированное течение. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости в трубах. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб; расчетные уравнения. Современные методы расчета теплообмена с использованием ЭВМ. Расчетные уравнения, полученные опытным путем.

38. Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Анализ задачи о конвективном теплообмене при свободном движении жидкости методом подобия. Расчетные уравнения для теплоотдачи.

39. Жидкометаллические теплоносители. Теплоотдача при околокритическом состоянии вещества. Теплоотдача в разреженных газах. Теплообмен при наличии в жидкости внутренних источников теплоты.

40. Пленочная и капельная конденсация. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки конденсата. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу.



Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам труб, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб.

41. Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью, краевого угол. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих центров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме.

42. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме. Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах.

43. Основные положения теории массообмена. Термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз.

44. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионный критерий Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.

45. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел.

46. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка; закон Вина. Серое тело. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта.

47. Виды лучистых потоков. Их взаимная связь. Интегральные уравнения излучения. Угловые коэффициенты и взаимные поверхности. Зональный метод расчета теплообмена излучением в системе двух тел. Особенности теплообмена в замкнутой системе.

48. Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.

49. Средний температурный напор. Определение температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока. Выражение для полного падения давления в теплообменнике. Сопротивление



трения и местные сопротивления. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителей.

## II. Требования к уровню подготовки поступающего

### Поступающий должен знать/понимать:

- законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты;
- калорические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям;
- термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках;
- законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам.

### Поступающий должен уметь:

- проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД;
- рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью интенсификации процессов теплообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты;
- рассчитывать передаваемые тепловые потоки.

## III. Примерный вариант задания

Поступающий получает 5 (пять) вопросов, на которые он должен максимально расширенно письменно ответить. Вопросы выбираются из каждого блока.

Вопрос № 1. Массовая, объемная и мольная теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости. Уравнение Майера. Коэффициент Пуассона. Физический смысл газовой постоянной.

Вопрос № 2. Значение дифференциальных уравнений термодинамики и основные методы доказательств. Основные дифференциальные уравнения объединенного закона термодинамики. Сравнение Максвелла. Дифференциалы уравнения теплоемкости.



Вопрос № 3. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях третьего рода. Анализ решений. Частные случаи.

Вопрос № 4. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению и длине канала. Выбор определяющих размеров и температур.

Вопрос № 5. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионный критерий Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.

#### IV. Критерии оценивания работ поступающих

Оценивание ответов на каждый вопрос осуществляется по 5-балльной шкале в зависимости от правильности и развернутости (углубленности) ответа (согласно таблице 1). После ответов на все вопросы определяется среднее арифметическое, округленное в большую или меньшую сторону по правилам математики.

Таблица 1

Оценка	Критерий оценки
Отлично	Претендент демонстрирует полное понимание вопроса. На вопрос претендентом представлен развернутый (углубленный) ответ из нескольких литературных источников.
Хорошо	Претендент демонстрирует полное понимание вопроса. На вопрос претендентом представлен недостаточно развернутый (углубленный) ответ.
Удовлетворительно	Претендент демонстрирует частичное понимание вопроса. Претендентом представлен ответ только на часть вопроса.
Неудовлетворительно	Претендент демонстрирует непонимание вопроса. У претендента нет ответа на вопрос.

#### V. Рекомендуемая литература

##### *Основная литература*

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: Учебник. - 4-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 416 с.
2. Дубанин В.Ю. Техническая термодинамика. Учебное пособие / В.Ю. Дубанин - Воронеж: ВГТУ, 2010. 123 с.





ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ

**ПРОГРАММА**

**ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПРИ ПРИЕМЕ НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ  
ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ  
«ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА»**

3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов / В.П. Исаченко и др. - М.: «Энергия», 1975. 488 с.
4. Дахин С.В. Тепло- и массообмен: Учеб. пособие / С.В. Дахин - Воронеж: ВГТУ, 2008. 105 с.

*Дополнительная литература*

1. Дахин С.В. Расчет рекуперативных теплообменных аппаратов непрерывного действия: Учеб. пособие / С.В. Дахин - Воронеж: ВГТУ, 2008. 118 с.