

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



УТВЕРЖДАЮ  
И.о. ректора ВГТУ  
Д.К. Проскурин  
03 2022 г.

Система менеджмента качества

**ПРОГРАММА**  
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПРИ ПРИЕМЕ НА ОБУЧЕНИЕ  
ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ  
НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ  
КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

**1.3 «ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ»**  
(группа научных специальностей)

**1.3.14 «ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА»**  
(научная специальность)

Воронеж 2022

**I. Перечень элементов содержания, проверяемых  
на вступительном испытании по научной специальности 1.3.14  
«Теплофизика и теоретическая теплотехника»**

1. Термодинамика

Термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Законы идеального газа. Смеси идеальных газов. Первый закон термодинамики. Теплота. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики. Второй закон термодинамики. Циклы. Понятие термического КПД. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.

Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела. Уравнение состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке.

Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля-Томпсона. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля). Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия. Циклы Карно, Отто, Дизеля. Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты в цикле. Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы.

Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки.

2. Гидрогазодинамика

Гидрогазодинамика как раздел механики сплошных сред. Гидрогазодинамика в теплоэнергетике. Основные физические свойства жидкостей и газов. Модели жидкой среды; идеальная (невязкая) жидкость.

Типы и режимы течений жидкости. Основная формула гидростатики; давление на стенки.

Одномерная модель течения жидкости и газа. Интегральная форма законов сохранения. Расход жидкости. Уравнение неразрывности. Общая интегральная форма уравнений количества движения и момента количества движения. Уравнения Эйлера. Общее уравнение энергии в интегральной и дифференциальной форме. Закон сохранения полной энтальпии. Механическая форма уравнения энергии (уравнение Бернулли).

Характерные параметры и скорости течения газа. Дифференциальное уравнение движения газа в канале переменного сечения.

Плоское (двумерное) движение идеальной жидкости. Распространение слабых возмущений в потоке газа. Сверхзвуковые течения.

Элементарные волны разрежения и сжатия. Отражение волн от твердой стенки и свободной границы. Образование ударной волны в газе. Скачки уплотнения. Основные уравнения газовой динамики для параметров потока на скачке уплотнения.

Сложное движение жидкой частицы. Поле скоростей жидкой среды в окрестности точки. Теорема Коши–Гельмгольца. Деформационное движение элементарного жидкого объема. Тензор скоростей деформаций. Относительная скорость объемной деформации.

Объемные (массовые) и поверхностные силы, действующие в жидкостях. Свойства напряжений поверхностных сил. Нормальные и касательные напряжения. Тензор напряжений. Уравнения движения жидкости в напряжениях.

Закон вязкого трения Ньютона. Связь тензоров напряжений и скоростей деформаций. Система уравнений движения вязкой жидкости; уравнения Навье–Стокса. Граничные и начальные условия (условия однозначности).

Возникновение турбулентных течений. Основные особенности и статистические характеристики турбулентности. Осреднение параметров. Уравнения Рейнольдса. Тензор турбулентных напряжений. Гипотезы о турбулентных напряжениях.

Движения вязкой жидкости при больших числах Рейнольдса. Понятие о пограничном слое: основные особенности, параметры и определения. Дифференциальные уравнения пограничного слоя; граничные условия. Отрыв пограничного слоя.

Особенности течений вязкой жидкости через местные сопротивления. Гидравлические потери на местных сопротивлениях. Расчет движения жидкости при внезапном расширении и внезапном сужении трубы, а также на ее поворотах. Истечение жидкости и газа через отверстия и насадки.

Уравнения одномерного неустановившегося движения жидкости. Гидравлический удар. Особенности двухкомпонентных и двухфазных течений.

### 3. Теплообмен

Теплоотдача при обтекании плоской пластины: общая картина процесса, гидродинамический и тепловой пограничный слой (ПС). Ламинарный ПС на пластине. Уравнения теплового ПС. Профиль скорости, толщина ПС, профиль температуры. Уравнения локальной и общей теплоотдачи. Турбулентный режим: общая картина и особенности динамического и теплового ПС. Уравнения Прандтля для динамического ПС. Уравнения для теплоотдачи.

Теплообмен при вынужденном движении жидкости в трубах: общая картина. Особенности гидродинамики. Расчет гидросопротивления. Особенности теплообмена.

Теплоотдача при ламинарном режиме. Уравнения для расчета теплоотдачи в трубе на турбулентном и переходном режимах.

Поперечная на обтекание одиночной трубы: общая картина, особенности гидродинамики и теплоотдачи. Вид уравнений для расчета теплоотдачи. Поперечное обтекание пучков труб: общая картина, особенности гидродинамики и теплоотдачи. Вид уравнений для расчета теплоотдачи.

Теплообменные аппараты (ТА): классификация, конструктивные схемы. Тепловой расчет рекуперативных ТА: основные уравнения, средний температурный напор для прямоточной, противоточной и перекрестной схем. Проектровочный расчет ТА. Проверочный расчет ТА для прямоточной и противоточной схем, сопоставление их эффективности. Определение температур поверхности теплообмена.

Теплоотдача при свободной конвекции. Уравнения движения. Число Грасгофа. Форма уравнений подобия для теплоотдачи. Свободная конвекция в неограниченном пространстве: основные схемы, вид уравнений. Свободная конвекция в замкнутом объеме жидкости. Основные схемы.

Теплообмен при кипении. Свойства пузырьков пара. Кипение в большом объеме: общая картина и основные особенности. Температурная кривая. Режимы кипения, критические тепловые нагрузки. Кипение с недогревом. Кипение при вынужденном движении жидкости в трубах. Картина и особенности процесса.

Конденсация пара. Виды конденсации. Картина пленочной конденсации на вертикальной стенке. Режимы течения пленки. Конденсация на горизонтальных трубах. Конденсация движущегося пара на горизонтальных пучках труб. Интенсификация теплообмена в конденсаторах. Влияние примеси газов на конденсацию.

Теплообмен излучением. Основные понятия и определения. Основные законы теплообмена излучением. Радиационный теплообмен между телами, разделенными прозрачной средой: плоские стенки, концентрические цилиндры или сферы, стенки с экранами (картина радиационного теплообмена, расчетные формулы). Теплообмен между произвольно расположенными телами. Угловые коэффициенты, взаимная поверхность излучения.

Радиационный теплообмен в поглощающей и излучающей среде. Излучение и поглощение газов. Спектральная интенсивность излучения. Коэффициент поглощения, закон Бугера. Оптическая толщина газового слоя. Уравнение переноса лучистой энергии.

## Экзаменационные вопросы

1. Термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики.

2. Первый закон термодинамики. Теплота. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии.
3. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики.
4. Второй закон термодинамики. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.
5. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела.
6. Уравнение состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха.
7. Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы.
8. Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия.
9. Холодильные циклы.
10. Газодинамика как раздел механики сплошных сред.
11. Газодинамика в теплоэнергетике. Основные физические свойства жидкостей и газов.
12. Модели жидкой среды; идеальная (невязкая) жидкость.
13. Типы и режимы течений жидкости.
14. Основная формула гидростатики; давление на стенки.
15. Одномерная модель течения жидкости и газа. Интегральная форма законов сохранения. Расход жидкости.
16. Уравнение неразрывности. Общая интегральная форма уравнений количества движения и момента количества движения.
17. Уравнения Эйлера. Общее уравнение энергии в интегральной и дифференциальной форме.
18. Закон сохранения полной энтальпии. Механическая форма уравнения энергии (уравнение Бернулли).
19. Характерные параметры и скорости течения газа. Дифференциальное уравнение движения газа в канале переменного сечения.
20. Плоское (двумерное) движение идеальной жидкости. Распространение слабых возмущений в потоке газа. Сверхзвуковые течения.
21. Элементарные волны разрежения и сжатия. Отражение волн от твердой стенки и свободной границы.
22. Образование ударной волны в газе. Скачки уплотнения. Основные уравнения газовой динамики для параметров потока на скачке уплотнения.
23. Сложное движение жидкой частицы. Поле скоростей жидкой среды в окрестности точки. Теорема Коши–Гельмгольца. Деформационное движение элементарного жидкого объема.
24. Тензор скоростей деформаций. Относительная скорость объемной деформации.
25. Объемные (массовые) и поверхностные силы, действующие в жидкостях. Свойства напряжений поверхностных сил. Нормальные и касательные напряжения. Тензор напряжений.
26. Уравнения движения жидкости в напряжениях.

27. Закон вязкого трения Ньютона. Связь тензоров напряжений и скоростей деформаций.
28. Система уравнений движения вязкой жидкости; уравнения Навье–Стокса. Граничные и начальные условия (условия однозначности).
29. Возникновение турбулентных течений. Основные особенности и статистические характеристики турбулентности. Осреднение параметров.
30. Уравнения Рейнольдса. Тензор турбулентных напряжений. Гипотезы о турбулентных напряжениях.
31. Движения вязкой жидкости при больших числах Рейнольдса. Понятие о пограничном слое: основные особенности, параметры и определения.
32. Дифференциальные уравнения пограничного слоя; граничные условия. Отрыв пограничного слоя.
33. Особенности течений вязкой жидкости через местные сопротивления. Гидравлические потери на местных сопротивлениях. Расчет движения жидкости при внезапном расширении и внезапном сужении трубы, а также на ее поворотах. Истечение жидкости и газа через отверстия и насадки.
34. Уравнения одномерного неустановившегося движения жидкости. Гидравлический удар.
35. Особенности двухкомпонентных и двухфазных течений.
36. Теплоотдача при обтекании плоской пластины: общая картина процесса, гидродинамический и тепловой пограничный слой (ПС). Аналогия процессов переноса импульса и теплоты при  $Pr=1$  и  $Pr \neq 1$ . Профиль скорости, толщина ПС, профиль температуры.
37. Теплообмен при вынужденном движении жидкости в трубах: общая картина. Особенности гидродинамики. Расчет гидросопротивления. Особенности теплообмена.
38. Теплоотдача при ламинарном режиме. Уравнения для расчета теплоотдачи в трубе на турбулентном и переходном режимах.
39. Поперечная на обтекание одиночной трубы: общая картина, особенности гидродинамики и теплоотдачи.
40. Теплообменные аппараты (ТА): классификация, конструктивные схемы.
41. Теплоотдача при свободной конвекции. Уравнения движения. Число Грасгофа. Форма уравнений подобия для теплоотдачи.
42. Теплообмен при кипении. Свойства пузырьков пара. Кипение в большом объеме: общая картина и основные особенности.
43. Конденсация пара. Виды конденсации.
44. Теплообмен излучением. Основные понятия и определения. Основные законы теплообмена излучением.
45. Радиационный теплообмен в поглощающей и излучающей среде. Излучение и поглощение газов.
46. Спектральная интенсивность излучения. Коэффициент поглощения, закон Бугера.

## II. Требования к уровню подготовки поступающего

Поступающий должен знать/понимать: основные понятия и теоретические положения, методы анализа, систематизации и обобщения учебной информации, цели и пути их достижения

Поступающий должен уметь: применять научные термины, формулировать цели, анализировать и обобщать учебную информацию

## III. Примерный вариант задания

Поступающий получает 3 (три) вопроса, на которые он должен максимально расширенно письменно ответить. Вопросы выбираются из каждого блока.

Вопрос № 1. Второй закон термодинамики. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.

Вопрос № 2. Одномерная модель течения жидкости и газа. Интегральная форма законов сохранения. Расход жидкости.

Вопрос № 3. Теплоотдача при свободной конвекции. Уравнения движения. Число Грасгофа. Форма уравнений подобия для теплоотдачи.

## IV. Критерии оценивания работ поступающих

Критерии оценивания работ поступающих: полнота раскрытия вопросов экзаменационного билета; логичность и последовательность изложения материала; аргументированность ответа; способность анализировать и сравнивать различные подходы к решению поставленной проблемы; готовность отвечать на дополнительные вопросы по существу экзаменационного билета. Результаты вступительного экзамена оцениваются как «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и объявляются в день экзамена.

Оценка, баллы	Критерии оценивания
Отлично	Даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией
Хорошо	Даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией
Удовлетворительно	Даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией; ответы на вопросы даются в основном полно при слабой логической оформленности высказывания

Неудовлетворительно	Не выполнены условия, позволяющие выставить оценку «удовлетворительно»; претендент демонстрирует непонимание вопроса; у претендента нет ответа на вопрос.
---------------------	---

## V. Рекомендуемая литература

### *Основная литература*

1. Кириллин В.А. Техническая термодинамика: учебник для вузов / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: МЭИ, 2008. - 496 с.
2. Кириченко Н.А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика: учебное пособие для вузов / Н.А. Кириченко. - М.: Физматкнига, 2005. - 176 с.
3. Лаптев А.Г. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике. Гл.5. Основы гидромеханики двухфазных сред/А.Г. Лаптев, М.И. Фарахов. - Казань: изд-во Казанского университета, 2008.- 729 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учебник для ВУЗов. Изд-во 6-ое, переработанное и доп. – М.: «Наука». Глав. ред. физ.-мат. лит-ры., 2003. – 840 с.

### *Дополнительная литература*

5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - Учебник для вузов. - М. Энергоиздат, 1981.
6. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник. - М.: Энергия, 1972.
7. Юдаев Б.Н. Теплопередача: Учебник для втузов. - М. Высшая школа, 1981.
8. Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача: Учебник для втузов - М. Высшая школа, 1991.