

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан  
Ю.Н. Рыжих

Оценочные материалы по дисциплине

**Термодинамика**

по направлению подготовки

**16.03.01 Техническая физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Компьютерное моделирование в инженерной теплофизике и аэрогидродинамике**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема  
**2024**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОПОП  
Э.Р. Шрагер  
Ю.Н. Рыжих

Председатель УМК  
В.А. Скрипняк

Томск – 2024

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и общепротивоположных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований;

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

РООПК-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные компьютерные технологии для их решения

РООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- контрольная работа 1;
- контрольная работа 2.

Контрольная работа 1 (РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-2.1, РООПК-2.2)

Контрольная работа 1 состоит из 5 задач и 13 теоретических вопросов.

Задачи:

1. В сосуде объемом 10 л содержится 7 г азота и 1 г водорода при температуре 17° С. Определить общее давление смеси газов и удельную массовую теплоемкость смеси. **10 баллов**
2. Азот (3 моля) расширяется в вакуум от объема 1 л в 5 л. Какое количество теплоты надо сообщить газу, чтобы его температура не изменилась (**10 баллов**):
  - 1) если газ считать идеальным;
  - 2) если газ подчиняется уравнению состояния Ван-дер-Ваальса (поправка  $a = 0,135 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$  для азота).
3. В комнате площадью  $35\text{м}^2$  и высотой 3.1 м воздух находится при 23°C и давлении 973 гПа. Сколько воздуха (в кг) проникнет с улицы в комнату, если барометрическое давление увеличится до 1013 гПа. Температура остается постоянной. **8 баллов**
4. Кусок льда массой  $m=200$  г взятый при температуре  $-10^\circ\text{C}$  нагрет до  $0^\circ\text{C}$  и расплавлен. После чего образовавшаяся вода нагрета до  $10^\circ\text{C}$ . Определить изменение энтропии системы (теплота плавления льда 333 кДж/кг, теплоемкость льда 2.03 кДж/(кг·К), теплоемкость воды 4.187 кДж/(кг·К)) **10 баллов**

5. В цикле Дизеля определить термодинамические параметры (давление, температуру, удельный объем) узловых точек 1,2,3,4 и КПД цикла. Газ двухатомный, степень сжатия  $\epsilon=12,7$ ,  $p_1=1$  ат,  $T_1=20^\circ\text{C}$ , удельную массовую теплоемкость рабочего газа рассчитать, учитывая его молярную массу  $\mu=29$  г/моль, удельное подводимое тепло  $q_1=823$  кДж/кг. **12 баллов**

Ответы:

Задача 1.  $p = 180836$  Па,  $C_v = 1948 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ,  $C_p = 2727 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

Задача 2. 1) 0 Дж; 2) 972 Дж.

Задача 3. 5,1 кг

Задача 4.  $289 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Задача 5.

	$p$	$T$	$\nu$
1	1 ат	293,15 К	0,84 м <sup>3</sup> /кг
2	35,1 ат	810 К	0,0662 м <sup>3</sup> /кг
3	35,1 ат	1631 К	0,1331 м <sup>3</sup> /кг
4	2,67 ат	781 К	0,84 м <sup>3</sup> /кг

$\eta = 0,58 \%$

Перечень теоретических вопросов:

- Состояние какой системы может быть описано путем задания термодинамических параметров? **2 балла**
- Что выражает уравнение состояния газа? **2 балла**
- Как определить молярную массу смеси газов через мольные доли? **2 балла**
- Что такое удельная теплоемкость вещества? От чего она зависит? Почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше теплоемкости при постоянном объеме? **4 балла**
- Может ли система совершать работу, если к ней не подводится тепло. Если может, то за счет чего? **2 балла**
- Какие особенности вещества учитываются в уравнениях состояния реальных газов (в отличие от уравнения состояния идеального газа)? **2 балла**
- Может ли меняться энтропия системы, если нет теплообмена с окружающей средой? Пояснить почему. **7 баллов**
- Какой объем в литрах занимает 2 моля идеального газа при нормальных физических условиях? **4 балла**
- Как изменится внутренняя энергия 1 моля идеального и реального газа находящегося при нормальной температуре с ростом молярного объема? **5 баллов**
- Совершает ли газ работу против внешних сил, если он расширяется в вакуум? Как меняется при этом его температура (для идеального газа, для реального газа)? **5 баллов**
- Что такое критическая температура вещества? **5 баллов**
- Какие термодинамические параметры системы нужно изменить и как, чтобы повысить КПД теплового двигателя? **5 баллов**
- Чему равно максимально возможное значение КПД цикла? При каких условиях оно достигается для цикла Карно? **5 баллов**

Критерии оценивания:

Результаты контрольной работы определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется, если по итогам работы набрано не менее 50 баллов из 100. В противном случае выставляется оценка «не зачтено»

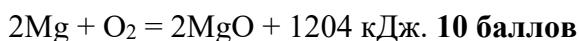
Контрольная работа 2 (РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-2.1, РООПК-2.2)

Контрольная работа 2 состоит из 7 задач.

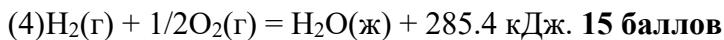
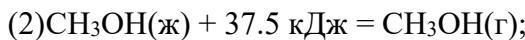
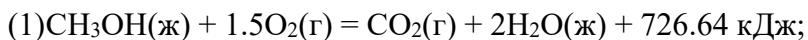
Задачи:

1. Определить разность тепловых эффектов  $Q_p$  и  $Q_v$  реакции  $2C(t) + O_2(g) = 2CO(g)$ , если она протекает при  $0^\circ C$ . Газы считать идеальными. **10 баллов**

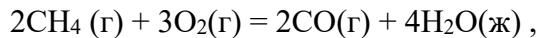
2. Определить количество теплоты, которое выделится при образовании 120 г  $MgO$  в результате горения магния, с помощью термохимического уравнения



3. Определить стандартный тепловой эффект  $\Delta H^0$  реакции образования метилового спирта:  $C(t) + 1/2O_2(g) + 2H_2(g) = CH_3OH(g)$ , если известны стандартные тепловые эффекты следующих реакций:

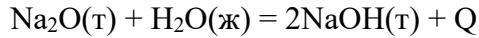


4. Вычислить тепловой эффект [кДж] реакции неполного сгорания 1 моля метана до оксида углерода, если известно уравнение реакции



стандартные молярные теплоты образования  $\Delta H^0(CH_4) = -74.85 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta H^0(CO) = -110.5 \text{ кДж/моль}$  и  $\Delta H^0(H_2O, \text{ ж}) = -286 \text{ кДж/моль}$ . Указать тип реакции (экзо- или эндотермическая)? **10 баллов**

5. Возможно ли самопроизвольное протекание реакции



при стандартных условиях? Ответ обосновать, рассчитав  $\Delta G_{298}^0$ . Чему равен тепловой эффект реакции  $Q$ ? Известны:

$$\Delta H_{298}^0(NaOH, t) = -427.8 \text{ кДж/моль; } S_{298}^0(NaOH, t) = 64.16 \text{ Дж/(моль·К);}$$

$$\Delta H_{298}^0(Na_2O, t) = -416 \text{ кДж/моль; } S_{298}^0(Na_2O, t) = 75.5 \text{ Дж/(моль·К);}$$

$$\Delta H_{298}^0(H_2O, \text{ ж}) = -286 \text{ кДж/моль; } S_{298}^0(H_2O, \text{ ж}) = 70 \text{ Дж/(моль·К). } \mathbf{20 \text{ баллов}}$$

6. Определить удельный объем жидкого олова (в  $\text{см}^3/\text{кг}$ ) при температуре плавления  $232^\circ C$  (1 атм), если удельная теплота плавления  $59.413 \text{ Дж/г}$ , плотность твердого олова  $7.18 \text{ г/см}^3$ ,  $dT/dp = 6.8 \cdot 10^{-8} \text{ К/Па. } \mathbf{20 \text{ баллов}}$

7. Константа реакции получения водорода  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$  при 1000 К имеет значение  $K_p = 1,37$ . Вычислить равновесное количество водорода, если исходная смесь содержит 0,4 моль CO и 0,6 моль  $\text{H}_2\text{O}$ . **15 баллов**

Ответы:

- Задача 1. 2270 Дж  
Задача 2. 1806 кДж  
Задача 3. -200,17 кДж, реакция экзотермическая  
Задача 4. -607,65 кДж, реакция экзотермическая  
Задача 5.  $\Delta G = -149$  кДж, реакция самопроизвольная  
Задача 6. 147  $\text{см}^3/\text{кг}$   
Задача 7. 0,26 моль

Критерии оценивания:

Результаты контрольной работы определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется, если по итогам работы набрано не менее 50 баллов из 100. В противном случае выставляется оценка «не зачтено»

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в письменной форме.

Экзаменационный билет содержит один из 37 теоретических вопросов, на который нужно дать развернутый письменный ответ. Помимо письменного ответа нужно устно ответить на три дополнительных вопроса – по одному из базовой темы термодинамики, тем по технической и химической термодинамике.

Перечень основных теоретических вопросов:

1. Термодинамика и её метод: два постулата и три закона.
2. Термодинамические параметры. Параметры – функции процесса и функции состояния. Эмпирическая температура.
3. Понятие термодинамического процесса. Теплоёмкости.
4. Термические и калорическое уравнения состояния. Модель идеального газа.
5. Внутренняя энергия, теплота и работа. Закон сохранения и превращения энергии.
6. Первый закон термодинамики. Недостатки первого закона и принцип адиабатической недостижимости.
7. Первый закон термодинамики для потока. Истечение газа из бесконечно большого резервуара.
8. Процессы равновесные, неравновесные, обратимые и необратимые.
9. Второй закон термодинамики и его формулировка. Основное уравнение и неравенство термодинамики.
10. Энтропия, её физический смысл и свойства.
11. Статистический характер второго закона. Формула Больцмана.
12. Понятие цикла. КПД цикла. Цикл Карно. Термодинамическая температура.
13. Вычисление энтропии равновесных процессов.
14. Изменение энтропии в необратимых процессах.
15. Энтропия и информация. Парадоксы, связанные со вторым началом термодинамики.
16. Термодинамические потенциалы. Термодинамическое равновесие.

## Устойчивость равновесия.

17. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса.
18. Фазовые переходы. Уравнение Клаузиуса – Клапейрона.
19. Критическое состояние вещества и его свойства. Положение критической точки на фазовой диаграмме. Преобразование уравнений состояния с использованием критических параметров.
20. Основные виды термодинамических процессов.
21. Работа в термодинамических процессах.
22. Общие закономерности установившегося течения идеального газа в соплах.
23. Закон обращения воздействий. Сопло Лаваля.
24. Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса.
25. Тепловые эффекты образования и сгорания веществ. Уравнение Кирхгофа.
26. Характеристические функции в системах с постоянным и переменным числом частиц. Уравнения Максвелла.
27. Условие химического равновесия. Закон действующих масс.
28. Константы химического равновесия, связь между ними и способы определения. Принцип Ле Шателье – Брауна.
29. Химический потенциал. Работа химической реакции. Химическое сродство.
30. Третий закон термодинамики, его использование для вычисления энтропии.
31. Направленность химических процессов. Изобарно-изотермический и изохорно-изотермический потенциалы.
32. Термическое уравнение состояния в дифференциальной форме. Термические коэффициенты.
33. Калорические коэффициенты. Теплоемкость.
34. Тепловые двигатели. Циклы, описывающие работу двигателей внутреннего сгорания.
35. Отличие моделей реальных газов от модели идеального газа. Уравнения состояния газа Ван-дер-Ваальса.
36. Формы записи термических уравнений состояния: виримальная, приведенная. Связь термического и калорического уравнений состояния.
37. Вывод характеристических функций для идеального газа.

Перечень дополнительных теоретических вопросов:

Базовая часть

- Первый и второй постулаты термодинамики
- Определение температуры, температура абсолютного нуля
- Критическая температура. Отличие газа и пара
- Термическое уравнение состояния идеального газа, границы применимости модели идеального газа
- Уравнения изохорного, изобарного и изотермического процессов
- Определение внутренней энергии, калорическое уравнение состояния идеального газа
- Релаксация, время релаксации
- Первый закон термодинамики: дифференциальное и интегральное уравнения
- Второй закон термодинамики (через энтропию)
- Определение теплоемкости, теплоемкость в основных термодинамических процессах
- Теплоемкости одно- и двух-атомных газов, теплоемкость смеси газов
- Адиабатический процесс, уравнение Пуассона
- Определение работы и теплоты

- Отличие моделей реального газа от модели идеального газа
- Работа изохорного, изобарного и изотермического процессов
- Основное уравнение термодинамики (Уравнение Гиббса)
- Расчет изменения энтропии идеального газа
- Уравнение Больцмана

#### Техническая термодинамика

- КПД цикла – определение, КПД реальных ДВС
- Основные типы ДВС и область их применения
- Классификация поршневых ДВС
- Отличие циклов Отто и Дизеля
- Конструктивные отличия бензинового и дизельного двигателей
- Определение и виды сопел
- Формула расчета силы тяги реактивного двигателя
- Система уравнений, описывающее одномерное стационарное течение идеального газа
- Закон обращения воздействий
- Формула Лапласа для местной скорости звука
- Характер изменения основных термодинамических параметров в ходе истечения газа из сопла
- Сопло Лаваля: основные режимы работы

#### Химическая термодинамика

- Определение теплового эффекта химической реакции
- Основные типы химических реакций, знак теплового эффекта
- Определение теплоты сгорания и теплоты образования вещества
- Стандартные условия, определение стандартной теплоты образования
- Расчет теплового эффекта произвольной химической реакции с помощью закона Гесса
- Формула Кирхгофа, ее назначение
- Направленность химической реакции
- Определение химического потенциала и энергии Гиббса
- Условие термодинамического равновесия и основные термодинамические потенциалы
- Определение состояния химического равновесия
- Константа химического равновесия, связь между ее значением и составом системы
- Закон действующих масс (зависимость константы химического равновесия)
- Влияние температуры на химическое равновесие
- Отличие фазовых переходов первого и второго рода с примерами
- Условия фазового равновесия
- Правило фаз Гиббса
- Построение фазовой диаграммы

#### Критерии оценивания:

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если дан правильный развернутый ответ на теоретический вопрос билета и даны правильные ответы на три дополнительных вопроса.

Оценка «хорошо» выставляется, если дан правильный развернутый ответ на теоретический вопрос билета и даны правильные ответы на два из трех дополнительных вопросов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если дан правильный развернутый ответ на теоретический вопрос билета и дан правильный ответ на один из трех дополнительных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если нет развернутого ответа на вопрос билета, или, при наличии правильного ответа на вопрос билета, даны неверные ответы на три дополнительных вопроса.

### **Перечень учебной литературы**

- Базаров И.П. Термодинамика. – СПб.: Лань, 2010. – 377 с.
- Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1: Теория равновесных систем: Термодинамика. – Изд. 2, сущ. перераб. и доп. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с.
- Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Изд. дом МЭИ, 2016. – 495 с.
- Румер Ю.Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во Носиб. ун-та, 2000. – 608 с.
- Макаров М.С., Наумкин В.С. Термодинамика и теплопередача: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 183 с.
- Ревягин Л.Н. Сборник задач по термодинамике. – Изд-во Томского гос. ун-та, 2007 г. – 106 с.
- Логинова А.Ю. Основы химической термодинамики. Изд-во МГТУ им. Баумана, 2012. – 88 с.

### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

Перечень основных теоретических вопросов:

1. Термодинамика и её метод: два постулата и три закона.
2. Термодинамические параметры. Параметры – функции процесса и функции состояния. Эмпирическая температура.
3. Понятие термодинамического процесса. Теплоёмкости.
4. Термические и калорическое уравнения состояния. Модель идеального газа.
5. Внутренняя энергия, теплота и работа. Закон сохранения и превращения энергии.
6. Первый закон термодинамики. Недостатки первого закона и принцип адиабатической недостижимости.
7. Первый закон термодинамики для потока. Истечение газа из бесконечно большого резервуара.
8. Процессы равновесные, неравновесные, обратимые и необратимые.
9. Второй закон термодинамики и его формулировка. Основное уравнение и неравенство термодинамики.
10. Энтропия, её физический смысл и свойства.
11. Статистический характер второго закона. Формула Больцмана.
12. Понятие цикла. КПД цикла. Цикл Карно. Термодинамическая температура.
13. Вычисление энтропии равновесных процессов.
14. Изменение энтропии в необратимых процессах.
15. Энтропия и информация. Парадоксы, связанные со вторым началом термодинамики.
16. Термодинамические потенциалы. Термодинамическое равновесие.

### Устойчивость равновесия.

17. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса.
18. Фазовые переходы. Уравнение Клаузиуса – Клапейрона.
19. Критическое состояние вещества и его свойства. Положение критической точки на фазовой диаграмме. Преобразование уравнений состояния с использованием критических параметров.
20. Основные виды термодинамических процессов.
21. Работа в термодинамических процессах.
22. Общие закономерности установившегося течения идеального газа в соплах.
23. Закон обращения воздействий. Сопло Лаваля.
24. Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса.
25. Тепловые эффекты образования и сгорания веществ. Уравнение Кирхгофа.
26. Характеристические функции в системах с постоянным и переменным числом частиц. Уравнения Максвелла.
27. Условие химического равновесия. Закон действующих масс.
28. Константы химического равновесия, связь между ними и способы определения. Принцип Ле Шателье – Брауна.
29. Химический потенциал. Работа химической реакции. Химическое сродство.
30. Третий закон термодинамики, его использование для вычисления энтропии.
31. Направленность химических процессов. Изобарно-изотермический и изохорно-изотермический потенциалы.
32. Термическое уравнение состояния в дифференциальной форме. Термические коэффициенты.
33. Калорические коэффициенты. Теплоемкость.
34. Тепловые двигатели. Циклы, описывающие работу двигателей внутреннего сгорания.
35. Отличие моделей реальных газов от модели идеального газа. Уравнения состояния газа Ван-дер-Ваальса.
36. Формы записи термических уравнений состояния: виримальная, приведенная. Связь термического и калорического уравнений состояния.
37. Вывод характеристических функций для идеального газа.

Критерии оценивания: правильный, развернутый ответ или содержащий незначительные фактические ошибки на один вопрос из списка.

### Информация о разработчиках

Пономарева Мария Андреевна, к.ф.-м.н., доцент, кафедра прикладной газовой динамики и горения физико-технического факультета, доцент