

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Сыров Игорь Анатольевич  
Должность: Директор  
Дата подписания: 27.06.2022 11:24:27  
Уникальный программный ключ:  
b683afe664d7e9f64175886cf9626a196149ad56

СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет  
Кафедра

*Естественнонаучный*  
*Общей и теоретической физики*

**Оценочные материалы по дисциплине (модулю)**

дисциплина

*Теплофизика*

**Блок Б1, обязательная часть, Б1.О.29**

цикл дисциплины и его часть (обязательная часть или часть, формируемая участниками образовательных отношений)

Направление

**20.03.01**

**Техносферная безопасность**

код

наименование направления

Программа

**Пожарная безопасность**

Форма обучения

**Заочная**

Для поступивших на обучение в  
**2022 г.**

Разработчик (составитель)

**к.ф.-м.н., доцент**

**Зеленова М. А.**

ученая степень, должность, ФИО

<b>1. Перечень компетенций, индикаторов достижения компетенций и описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Оценочные средства, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания</b> .....	<b>29</b>

**1. Перечень компетенций, индикаторов достижения компетенций и описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Показатели и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)				Вид оценочного средства
			1	2	3	4	
			неуд.	удовл.	хорошо	отлично	
ОПК-1. Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области техносферной безопасности, измерительно й и вычислительн ой техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессионал ьной	ОПК-1.3. Применяет на практике методы теоретического и эксперименталь ного исследования в естественнаучн ых дисциплинах для защиты окружающей среды и обеспечение безопасности человека.	Обучающийся должен знать: параметры и функции состояния идеального газа, термодинамичес кие процессы газов, законы термодинамики, термодинамичес кие процессы и процессы теплообмена, основные факторы, влияющие на тепловые и эксплуатационн ые характеристики основных видов	не владеет методом определения изменения теплопередачи с учетом загрязнения поверхностей теплообмена, методами исследования термодинамичес ких и тепловых процессов, методами получения и преобразования тепловой энергии, методикой определения средней	слабо владеет методом определения изменения теплопередачи с учетом загрязнения поверхностей теплообмена, методами исследования термодинамичес ких и тепловых процессов, методами получения и преобразования тепловой энергии, методикой определения средней	владеет не всеми методами определения изменения теплопередачи с учетом загрязнения поверхностей теплообмена, методами исследования термодинамичес ких и тепловых процессов, методами получения и преобразования тепловой энергии, методикой определения средней	в полной мере владеет методом определения изменения теплопередачи с учетом загрязнения поверхностей теплообмена, методами исследования термодинамичес ких и тепловых процессов, методами получения и преобразования тепловой энергии, методикой определения средней	Контрольн ая работа. Домашняя контрольн ая работа

<p>деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека;</p>		<p>топлив энергетических установок. Обучающийся должен знать: основные технические мероприятия по интенсификации процессов теплообмена, основные законы термодинамики и теплообмена, основные технические мероприятия, способствующие эффективному использованию теплоэнергетических ресурсов, признаки классификации теплообменных аппаратов, способы переноса теплоты.</p>	<p>массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой расчета передаваемого количества теплоты при излучении. не владеет методикой расчета передаваемого количества теплоты при теплопередаче, методами проведения теоретических и экспериментальных теплотехнических исследований, методами измерений термодинамических параметров, навыками расчетов процессов в</p>	<p>массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой расчета передаваемого количества теплоты при излучении. слабо владеет методикой расчета передаваемого количества теплоты при теплопередаче, методами проведения теоретических и экспериментальных теплотехнических исследований, методами измерений термодинамических параметров, навыками расчетов процессов в</p>	<p>массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой расчета передаваемого количества теплоты при излучении. не до конца владеет методикой расчета передаваемого количества теплоты при теплопередаче, методами проведения теоретических и экспериментальных теплотехнических исследований, методами измерений термодинамических параметров, навыками расчетов процессов в</p>	<p>массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой расчета передаваемого количества теплоты при излучении. владеет всеми методикой расчета передаваемого количества теплоты при теплопередаче, методами проведения теоретических и экспериментальных теплотехнических исследований, методами измерений термодинамических параметров, навыками расчетов процессов в</p>	
---	--	--	--	---	---	---	--

			теплофизически установках, методикой определения средней массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой проведения конструкторског о расчета рекуперативных теплообменнико в.	теплофизически установках, методикой определения средней массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой проведения конструкторског о расчета рекуперативных теплообменнико в.	теплофизически установках, методикой определения средней массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой проведения конструкторског о расчета рекуперативных теплообменнико в.	теплофизически установках, методикой определения средней массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой проведения конструкторског о расчета рекуперативных теплообменнико в.	
ОПК-1.2. Осуществляет проектирование технических объектов с использованием методов и средств инженерной и компьютерной графики.	Обучающийся должен уметь: определять параметры состояния перегретого пара, Рассчитывать коэффициент теплопередачи для стационарного теплого процесса, определять тепловые и	не умеет определять параметры состояния перегретого пара, рассчитывать коэффициент теплопередачи для стационарного теплого процесса, определять тепловые и теплофизически	плохо умеет определять параметры состояния перегретого пара, рассчитывать коэффициент теплопередачи для стационарного теплого процесса, определять тепловые и теплофизически	не в полной мере умеет определять параметры состояния перегретого пара, рассчитывать коэффициент теплопередачи для стационарного теплого процесса, определять тепловые и	умеет в полной мере определять параметры состояния перегретого пара, рассчитывать коэффициент теплопередачи для стационарного теплого процесса, определять тепловые и теплофизически	Реферат. Лаборатор ная работа. Решение задач	

		<p>теплофизически е величины, характеризующие термодинамические процессы, измерять тепловые и теплофизически е величины, характеризующие термодинамические процессы и процессы теплообмена, рассчитывать термодинамические процессы и циклы, теплообменные процессы, аппараты и другие основные технические устройства. Обучающийся должен уметь: рассчитывать необходимое количество</p>	<p>е величины, характеризующие термодинамические процессы, измерять тепловые и теплофизически е величины, характеризующие термодинамические процессы и процессы теплообмена, рассчитывать термодинамические процессы и циклы, теплообменные процессы, аппараты и другие основные технические устройства. не умеет рассчитывать необходимое количество тепла при выработке</p>	<p>е величины, характеризующие термодинамические процессы, измерять тепловые и теплофизически е величины, характеризующие термодинамические процессы и процессы теплообмена, рассчитывать термодинамические процессы и циклы, теплообменные процессы, аппараты и другие основные технические устройства. плохо умеет рассчитывать необходимое количество тепла при выработке</p>	<p>теплофизически е величины, характеризующие термодинамические процессы, измерять тепловые и теплофизически е величины, характеризующие термодинамические процессы и процессы теплообмена, рассчитывать термодинамические процессы и циклы, теплообменные процессы, аппараты и другие основные технические устройства. не до конца умеет рассчитывать необходимое количество тепла при</p>	<p>е величины, характеризующие термодинамические процессы, измерять тепловые и теплофизически е величины, характеризующие термодинамические процессы и процессы теплообмена, рассчитывать термодинамические процессы и циклы, теплообменные процессы, аппараты и другие основные технические устройства. хорошо умеет рассчитывать необходимое количество тепла при выработке</p>	
--	--	---	---	--	---	---	--

		тепла при выработке сухого насыщенного пара, определять коэффициент теплоотдачи, определять значение коэффициента теплоотдачи при нескольких значениях температурного напора, определять термодинамические свойства рабочих тел и теплоносителей, определять теплофизические характеристики различных средств инженерной защиты окружающей среды.	сухого насыщенного пара, определять коэффициент теплоотдачи, определять значение коэффициента теплоотдачи при нескольких значениях температурного напора, определять термодинамические свойства рабочих тел и теплоносителей, определять теплофизические характеристики различных средств инженерной защиты окружающей среды.	сухого насыщенного пара, определять коэффициент теплоотдачи, определять значение коэффициента теплоотдачи при нескольких значениях температурного напора, определять термодинамические свойства рабочих тел и теплоносителей, определять теплофизические характеристики различных средств инженерной защиты окружающей среды.	выработке сухого насыщенного пара, определять коэффициент теплоотдачи, определять значение коэффициента теплоотдачи при нескольких значениях температурного напора, определять термодинамические свойства рабочих тел и теплоносителей, определять теплофизические характеристики различных средств инженерной защиты окружающей среды.	сухого насыщенного пара, определять коэффициент теплоотдачи, определять значение коэффициента теплоотдачи при нескольких значениях температурного напора, определять термодинамические свойства рабочих тел и теплоносителей, определять теплофизические характеристики различных средств инженерной защиты окружающей среды.	
	ОПК-1.1. Знает	Обучающийся	не знает	плохо знает	знает с	в полной мере	Устный

	<p>современные тенденции развития техники и технологии защиты от чрезвычайных ситуаций применительно к сфере своей профессиональной деятельности, учитывает развитие уровня измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области техносферной безопасности</p>	<p>должен владеть: методом определения изменения теплопередачи с учетом загрязнения поверхностей теплообмена, методами исследования термодинамических и тепловых процессов, методами получения и преобразования тепловой энергии, методикой определения средней массовой изобарной теплоёмкости воздуха, методикой расчета передаваемого количества теплоты при излучении.</p>	<p>параметры и функции состояния идеального газа, термодинамические процессы газов, законы термодинамики, термодинамические процессы и процессы теплообмена, основные факторы, влияющие на тепловые и эксплуатационные характеристики основных видов топлив энергетических установок. не знает основные технические мероприятия по интенсификации процессов теплообмена, основные законы термодинамики</p>	<p>параметры и функции состояния идеального газа, термодинамические процессы газов, законы термодинамики, термодинамические процессы и процессы теплообмена, основные факторы, влияющие на тепловые и эксплуатационные характеристики основных видов топлив энергетических установок. обрывочно знает основные технические мероприятия по интенсификации процессов теплообмена, основные законы</p>	<p>пробелами параметрами и функции состояния идеального газа, термодинамические процессы газов, законы термодинамики, термодинамические процессы и процессы теплообмена, основные факторы, влияющие на тепловые и эксплуатационные характеристики основных видов топлив энергетических установок. не в полной мере знает основные технические мероприятия по интенсификации процессов теплообмена, основные</p>	<p>знает параметры и функции состояния идеального газа, термодинамические процессы газов, законы термодинамики, термодинамические процессы и процессы теплообмена, основные факторы, влияющие на тепловые и эксплуатационные характеристики основных видов топлив энергетических установок. достаточно хорошо знает основные технические мероприятия по интенсификации процессов теплообмена, основные</p>	<p>опрос</p>
--	---	--	--	---	---	--	--------------



		<p>Обучающийся должен владеть: методикой расчета передаваемого количества теплоты при теплопередаче, методами проведения теоретических и экспериментальных теплотехнических исследований, методами измерений термодинамических параметров, навыками расчетов процессов в теплофизических установках, методикой определения средней массовой изобарной теплоёмкости воздуха,</p>	<p>и теплообмена, основные технические мероприятия, способствующие эффективному использованию теплоэнергетических ресурсов, признаки классификации теплообменных аппаратов, способы переноса теплоты.</p>	<p>термодинамики и теплообмена, основные технические мероприятия, способствующие эффективному использованию теплоэнергетических ресурсов, признаки классификации теплообменных аппаратов, способы переноса теплоты.</p>	<p>законы термодинамики и теплообмена, основные технические мероприятия, способствующие эффективному использованию теплоэнергетических ресурсов, признаки классификации теплообменных аппаратов, способы переноса теплоты.</p>	<p>законы термодинамики и теплообмена, основные технические мероприятия, способствующие эффективному использованию теплоэнергетических ресурсов, признаки классификации теплообменных аппаратов, способы переноса теплоты.</p>	
--	--	---	---	---	--	--	--

		методикой проведения конструкторского расчета рекуперативных теплообменников.					
--	--	---	--	--	--	--	--

## 2. Оценочные средства, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

### Перечень вопросов к устному опросу

Перечень вопросов для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Знания»

1. Параметры и функции состояния идеального газа. Уравнение состояния газа.
2. Теплоемкость.
3. Внешняя работа газа.
4. Внутренняя энергия газа.
5. Первый закон термодинамики.
6. Перечислите термодинамические процессы идеальных газов.
7. Перечислите термодинамические параметры влажного воздуха, используемого в качестве рабочего тела.
8. Перечислите термодинамические параметры водяного пара, используемого в качестве рабочего тела.
9. Что такое степень сухости влажного пара?
10. Дросселирование газов и паров.
11. Сформулируйте второй закон термодинамики.
12. Опишите идеальный цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания.
13. Рабочий процесс компрессора.
14. Работа, выполняемая в идеальных циклах.
15. Работа при сжатии одного килограмма газа.
16. Изохорный цикл.
17. Прямой газовый изобарный цикл неполного расширения.
18. Сравнение изохорного и изобарного циклов.
19. Прямой газовый смешанный цикл неполного расширения.
20. Прямой газовый изобарный цикл полного расширения.
21. Теплопроводность при стационарном режиме.
22. Конвективный теплообмен.
23. Дифференциальные уравнения теплообмена.
24. Основные положения теории подобия.
25. Расчётные критериальные уравнения конвективного теплообмена.
26. Теплоотдача при вынужденной конвекции.
27. Поперечное обтекание пучков труб (промышленные и транспортные теплообменники)
28. Лучистый теплообмен
29. Теплоотдача при кипении жидкости на твердой поверхности.
30. Теплоотдача при конденсации чистых паров на твердой поверхности.
31. Что такое коэффициент теплоотдачи?
32. Назовите единицы измерения коэффициента теплоотдачи.
33. Что такое теплопередача?
34. Назовите единицы измерения теплопередачи.
35. Что такое коэффициент теплопередачи?
36. Что такое температурный напор?
37. Перечислите основные признаки классификации теплообменных аппаратов.
38. Конструкторский расчет рекуперативных теплообменников
39. Тепловой расчет теплообменных аппаратов.
40. Что такое тепломассообмен?
41. Перечислите основные элементы котельных установок.
42. Тепло- и массообмен в процессе сушки.
43. Тепловой баланс парового котла.

43. Коэффициент полезного действия.
44. Что такое низшая теплота сгорания?
45. Чем котельная установка отличается от энергетической установки?

### **Темы реферата**

Перечень вопросов для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Умения»

1. Основные виды передачи тепла.
2. Теплопроводность при стационарном режиме. Температурный градиент, изотермическая поверхность. Закон Фурье.
3. Теплопроводность одно- и многослойных цилиндрических стенок.
4. Теплопроводность одно- и многослойных плоских стенок.
5. Нестационарная теплопроводность. Прогрев стен и колонн. Стандартный температурный режим.
6. Конвективный теплообмен. Факторы, влияющие на интенсивность конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона - Рихмана.
7. Теплообмен при естественной циркуляции воздуха. Конвективный теплообмен в неограниченном объёме и в прослойках.
8. Конвективный теплообмен при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при вынужденном движении жидкости по каналам.
9. Конвективный теплообмен при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при поперечном обтекании труб.
10. Теплообмен при изменении агрегатного состояния (кипение, конденсация).
11. Тепловое излучение. Основные законы лучистого теплообмена.
12. Лучистый теплообмен между телами (плоскопараллельными, свободно ориентированными в пространстве, концентрически расположенными поверхностями).
13. Тепловые экраны. Виды, назначение, методика расчёта отражающих экранов.
14. Излучение в ослабляющей среде.
15. Излучение факела.
16. Излучение факела на пожаре. Минимально безопасные расстояния. Методика расчёта минимально безопасных расстояний.
17. Сложный теплообмен. Теплопередача через одно- и многослойные плоские стенки.
18. Сложный теплообмен. Теплопередача через одно- и многослойные цилиндрические стенки.
19. Классификация теплообменных аппаратов.
20. Топливо. Классификация топлив. Характеристика топлив.
21. Изменение температуры и энтальпии тел при нагревании.

### **Лабораторные работы**

*Лабораторные работы выполняются на компьютере и являются виртуальными. Ссылки на работы указаны в пункте 6.2 в разделе Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»)*

Перечень заданий для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Умения»

*Определение удельной теплоемкости жидкостей методом электрокалориметра*  
Установка моделирует лабораторную работу «Определение удельной теплоемкости жидкостей методом электрокалориметра».

*Цель работы:* познакомиться с одним из способов определения удельной теплоемкости жидкостей.

*Краткая теория*

Удельная теплоемкость вещества - это физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу для того, чтобы изменить его температуру на  $1^{\circ}\text{C}$ , при том что масса этого тела 1 кг. Величина теплоемкости не остается постоянной и изменяется в зависимости от условий, в которых она определяется. Особенно важной является зависимость теплоемкости от температуры и давления. Обычно пользуются средним значением удельной теплоемкости для данного интервала температур.

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}, \quad (9.1)$$

где  $Q$  – количество теплоты, затраченное на нагревание массы вещества  $m$  от температуры  $t_1$  до  $t_2$ .

Для определения удельной теплоемкости жидкостей пользуются методом электрокалориметра, который основан на тепловом действии электрического тока. Прибор состоит из двух калориметров  $K_1$  и  $K_2$ , в которые помещены спирали с известными сопротивлениями  $r_1$  и  $r_2$ .

Количество теплоты, отданное первой и второй спиралями при прохождении по ним тока за время  $\tau$  равно

$$Q_1 = I^2 r_1 \tau, \quad (9.2)$$

$$Q_2 = I^2 r_2 \tau, \quad (9.3)$$

где  $I$  – сила тока, измеряемая амперметром,  $r_1$  и  $r_2$  – сопротивления спиралей в калориметрах  $K_1$  и  $K_2$ ,  $\tau$  – время пропускания тока.

В калориметр  $K_1$  наливается жидкость с известной удельной теплоемкостью (вода), а в калориметр  $K_2$  исследуемая жидкость (глицерин). Количество теплоты, полученное первым калориметром, мешалкой и водой за время  $\tau$ :

$$Q_1 = (\rho_1 V_1 c_1 + m_{k1} c_{k1}) \cdot (\theta_1 - t_1) + \Delta Q_1, \quad (9.4)$$

где  $\rho_1$ ,  $V_1$  и  $c_1$  – плотность, объем и удельная теплоемкость воды,  $m_{k1}$  и  $c_{k1}$  – масса и удельная теплоемкость калориметра  $K_1$  с термометром,  $t_1$  и  $\theta_1$  – начальная и конечная температуры воды,  $\Delta Q_1$  – потеря теплоты в окружающей среде калориметром  $K_1$ .

Количество теплоты, выделившееся во втором калориметре  $K_2$ :

$$Q_2 = (\rho_2 V_2 c_2 + m_{k2} c_{k2}) \cdot (\theta_2 - t_2) + \Delta Q_2, \quad (9.5)$$

где  $\rho_2$ ,  $V_2$  и  $c_2$  – плотность, объем и удельная теплоемкость воды,  $m_{k2}$  и  $c_{k2}$  – масса и удельная теплоемкость калориметра  $K_2$  с термометром,  $t_2$  и  $\theta_2$  – начальная и конечная температуры глицерина,  $\Delta Q_2$  – потери теплоты в окружающей среде калориметром  $K_2$ .

Если сопротивления  $r_1$  и  $r_2$  подобраны таким образом, что температуры в обоих калориметрах в каждый момент времени одинаковы или отличаются незначительно, то будет также одинаково количество теплоты, отдаваемое этими калориметрами в окружающую среду ( $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$ ).

Приравнявая выражения (9.2) и (9.4), а также (9.3) и (9.5) получим:

$$I^2 r_1 \tau = (\rho_1 V_1 c_1 + m_{k1} c_{k1}) \cdot (\theta_1 - t_1) + \Delta Q_1, \quad (9.6)$$

$$I^2 r_2 \tau = (\rho_2 V_2 c_2 + m_{k2} c_{k2}) \cdot (\theta_2 - t_2) + \Delta Q_2. \quad (9.7)$$

Решая систему уравнений (9.6) – (9.7), найдем:

$$I^2 (r_1 - r_2) \tau = (\rho_1 V_1 c_1 + m_{k1} c_{k1}) \cdot (\theta_1 - t_1) - (\rho_2 V_2 c_2 + m_{k2} c_{k2}) \cdot (\theta_2 - t_2), \quad (9.8)$$

Откуда

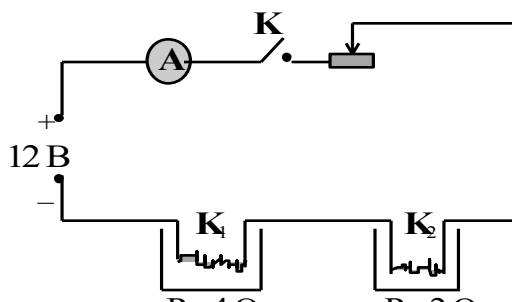
$$c_2 = \frac{(\rho_1 V_1 c_1 + m_{\kappa 1} c_{\kappa 1}) \cdot (\theta_1 - t_1) - m_{\kappa 2} c_{\kappa 2} \cdot (\theta_2 - t_2) - I^2 (r_1 - r_2) \tau}{\rho_2 V_2 (\theta_2 - t_2)} \quad (9.9)$$

Ход работы

1. Ознакомиться с экспериментальной установкой.



2. Зарисовать электрическую цепь (рис. 9.2).



3. Установить параметры тока в цепи  $U$ .
4. Выбрать исследуемую жидкость: масло, глицерин, скипидар.
5. Установить параметры калориметров  $m_{\kappa 1}$ ,  $c_{\kappa 1}$ ,  $m_{\kappa 2}$ ,  $c_{\kappa 2}$ , а затем параметры налитых в них жидкостей  $V_1$ ,  $V_2$ .
6. В калориметры опущены спирали до полного их погружения в жидкость и термометры. Установить сопротивления спиралей  $r_1$ ,  $r_2$ , и начальные температуры в первом  $K_1$  и втором  $K_2$  калориметрах  $t_1$ ,  $t_2$ .
7. Нажать на кнопку «пуск», с включением тока отметить время  $\tau$ . Величину тока, проходящего через спирали  $I$ , определить по амперметру.
8. Рекомендуется пропускать ток величиной в 1 А в течение 20 мин. Не допускать закипания жидкостей. При приближении к температуре кипения нажать на кнопку «пауза».
9. По истечении 20 минут (или при приближении к температуре кипения) ток выключить кнопкой «пауза» и после прекращения роста показаний термометра отсчитать конечные температуры в калориметрах  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ .
10. Полученные из опыта данные, а также табличные значения теплоемкостей воды и вещества калориметра, а также известные величины сопротивления спиралей подставить в формулу (9.9) и определить удельную теплоемкость исследуемой жидкости.
11. Нажать кнопку «сброс» и произвести опыт для других жидкостей.

12. Данные опыта занести в таблицу. Расчеты производить в СИ.

1	2	3	4	5	6	7	8
$V_1,$ $\text{м}^3$	$\rho_1,$ $\text{кг}/\text{м}^3$	$m_{к1},$ $\text{кг}$	$V_2,$ $\text{м}^3$	$\rho_2,$ $\text{кг}/\text{м}^3$	$m_{к2},$ $\text{кг}$	$c_1,$ $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$	$c_{к1},$ $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$

9	10	11	12	13	14	15	16
$c_{к2},$ $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$	$r_1,$ $\text{Ом}$	$r_2,$ $\text{Ом}$	$I,$ $\text{А}$	$\tau,$ $\text{с}$	$t_1,$ $^{\circ}\text{C}$	$\theta_1,$ $^{\circ}\text{C}$	$t_2,$ $^{\circ}\text{C}$

17	18	19	20	21
$\theta_2,$ $^{\circ}\text{C}$	$c_2,$ $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$	табличное $c_T,$ $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$	$\Delta c,$ $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$	$\epsilon_c,$ $\%$

13. Сформулировать выводы.

*Контрольные вопросы*

1. Расскажите о методе электрокалориметра, используемом в данной работе.
2. Что называется удельной теплоемкостью вещества? В чем она измеряется?
3. Каковы источники ошибок в данной работе?
4. Запишите основные приборы и оборудование, необходимые для проведения данной работы.

*Определение удельной теплоемкости твердых тел*

Установка моделирует лабораторную работу «Определение удельной теплоемкости твердых тел».

*Цель работы:* определить удельную теплоемкость твердого тела.

*Краткая теория*

Термодинамика (или общая теория теплоты) изучает макроскопические свойства тел и явлений природы, не интересуясь их микроскопическим строением. Для того чтобы описать состояние системы применяются физические величины, касающиеся к системе в целом – термодинамические параметры (например, давление, объем, температура). Если данные параметры системы имеют определенные значения, остающиеся при неизменных внешних условиях постоянными сколь угодно долго, называют равновесным состоянием. Изменение состояния может произойти, когда совершается работа (или над ней), а также при приведении ей (или отведении) теплоты.

Внутренняя энергия  $U$  складывается из теплового хаотического движения атомов или молекул и энергии межмолекулярных и межатомных взаимодействий и движений.

Количество теплоты  $Q$  – это энергия, которую тело теряет или приобретает при теплопередаче. На основании первого начала термодинамики, это количество тепла, сообщенное системе, идет на приращение ее внутренней энергии системы и на совершение системой работы ( $\Delta A = p \cdot \Delta V$ ) над внешними телами:

$$Q = \Delta U + \Delta A.$$

Теплообмен – физический процесс изменения внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом. Есть три способа теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение.

Теплообмен – самопроизвольный необратимый процесс передачи энергии между телами или участками внутри тела обусловленный градиентом температуры. Согласно второму началу термодинамики теплота переносится от тела, менее нагретого, к телу, более нагретому. Теплообмен всегда ведет к выравниваю температур тел.

Теплопроводность выполняется в результате переноса энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым за счет теплового движения и взаимодействия микрочастиц (атомов, молекул, ионов и др.). Наиболее движущиеся (т. е. которые имеют высокую температуру) частицы тела при непосредственном сближении друг к другу передают часть собственной энергии тем частицам тела, которые наименее подвижны. В процессе теплообмена важное место имеет теплопроводность в твердых телах, частицы которых наиболее соприкасаются друг с другом. К примеру, при сварке металлического листа в определенном месте, после определенного промежутка времени, возможно, увидеть, что увеличилась температура и на других участках листа, которые в свою очередь не нагревались: тепло распространилось теплопроводностью. Теплопроводность можно увидеть в чистом виде только в твердых телах и в неподвижных слоях жидкостей, газов или паров. Теплопроводность имеет малую значимость в жидкостях и газах.

Конвекция (К) (от лат. convectio — принесение, доставка), вид теплообмена, в ходе которого выполняется перенос теплоты в жидкостях, газах или сыпучих средах струями и потоками вещества. Бывает естественная, или свободная, и вынужденная конвекция.

Естественная конвекция выполняется при неравномерном нагревании (нагреве снизу) текучих, а также сыпучих веществ, которые находятся в поле силы тяжести (или в системе, имеющая ускорение). Вещество, чья температура больше, имеет меньшую плотность и под действием архимедовой силы  $F_A$  движется относительно вещества, у которого температура меньше. Сила  $F_A = \Delta\rho \cdot V \cdot g$  ( $\Delta\rho$  — разность плотностей вещества с большей температурой и окружающей среды,  $V$  — объём вещества с большей температурой,  $g$  — ускорение свободного падения). Направление силы  $F_A$ , соответственно, и конвекция для объёма вещества с большей температурой противоположно направлению силы тяжести. Конвекция приводит к равновесию температуры вещества. При постоянном подводе теплоты к определенному веществу в нём появляются стационарные конвекционные потоки, которые переносят теплоту от наиболее нагретых слоев к наименее нагретым. С убавлением разности температур между слоями интенсивность конвекция уменьшается. При больших значениях теплопроводности и вязкости среды конвекция также оказывается ослабленной. В условиях невесомости естественная конвекция невероятна.

При вынужденной конвекции смещение вещества идет во основном под действием какого-то устройства (насоса, мешалки и т.п.). Интенсивность переноса теплоты, в данном случае, зависит не только от вышеперечисленных факторов, но и от скорости вынужденного движения вещества.

Конвекция обширно распространена в природе, например в нижнем слое земной атмосферы, морях и океанах, в недрах Земли, на Солнце (в слое до глубины  $\sim (20 - 30)\%$  радиуса Солнца от его поверхности) и т.д. На основании конвекции происходит охлаждение или нагревание жидкостей и газов в различных технических устройствах.

**Лучистый теплообмен**, радиационный теплообмен, выполняется вследствие действия превращения внутренней энергии какого-то вещества в энергию излучения, переноса энергии излучения и её поглощения веществом. Протекание действий **Лучистый теплообмен** выполняется взаимным расположением в пространстве тел, обменивающихся теплом, свойствами среды, разделяющей эти тела. Основное различие **лучистого теплообмена** по сравнению с остальными видами теплообмена заключается в том, что он имеет возможность протекать и при отсутствии материальной среды, разделяющей поверхности теплообмена, так как выполняется в результате распространения электромагнитного излучения.



Удельная теплоемкость вещества  $c$  – скалярная физическая величина, которая показывает количество теплоты, необходимое телу, для того чтобы изменить температуру 1 кг этого вещества на 1 градус. Единица – 1 Дж/(кг·°C).

Количество теплоты, полученное или отданное телом при теплообмене, прямо пропорционально массе тела  $m$  и изменению его температуры  $\Delta T$ . Коэффициент пропорциональности – удельная теплоемкость вещества:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T. \quad (4.1)$$

Для того, чтобы вычислить температуру, которую станет обладать тело непосредственно при теплопередаче, нужно составить уравнение теплового баланса: Количество тепла, которое было отдано одним телом, равно количеству тепла, принятому другим телом системы. Это выражает собой всеобщий закон сохранения энергии в термодинамике. (Отметим, что работы в рассматриваемой задаче над системой не совершалось).

$$\left(\sum_i Q_i\right)_{\text{прин}} = \left(\sum_j Q_j\right)_{\text{отдан}}. \quad (4.2)$$

Для того, чтобы сравнить теплоемкость различных тел понадобится 2 калориметра, прибор для определения количества теплоты. Калориметр состоит из металлического сосуда с крышкой, который в свою очередь имеет форму стакана. Сосуд устанавливают на пробки, размещенные в иной, больший сосуд так, что между этими сосудами остается воздушная прослойка (рис. 4.1). Все это необходимо, чтобы данные предосторожности уменьшали отдачу теплоты окружающему пространству. Сосуд заполняют известным объемом воды  $V_B$ , температура которой до опыта измеряется (пусть она равна  $t_{XB}$ ). Теплоемкость воды при комнатных температурах:  $c_B = 4.19$  кДж/(кг·K). Потом берут металлический цилиндр массы  $m_T$ , теплоемкость которого нужно определить, и нагревают до определенной температуры  $t_T$  (например, помещают в пары кипящей воды, так что температура  $t_T = 100^\circ\text{C}$ ). Нагретый цилиндр опускают в воду калориметра, закрывают крышку и ждут, пока температура в калориметре установится (это произойдет, когда вода и тело примут одинаковую температуру). Тогда отмечают эту температуру  $t_K$ .

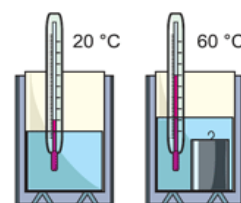


Рисунок 4.1

Измеренная установившаяся конечная температура в калориметре и остальные данные дают нам возможность рассчитать удельную теплоемкость металла, из которого изготовлен цилиндр. Определить искомую величину мы сможем исходя из того, что, остывая, цилиндр отдает ровно такое же количество теплоты, что и получает вода при нагревании, происходит так называемый теплообмен.

Соответственно приобретаем следующие уравнения. Для нагрева воды количество теплоты:

$$Q_1 = c_B \cdot m_B \cdot (t_K - t_{XB}) + c_K \cdot m_K \cdot (t_K - t_{XB}),$$

где  $c_B$  - удельная теплоемкость воды (табличная величина),  $m_B$  - масса воды, которую можно определить с помощью весов,  $t_K$  - установившаяся конечная температура воды и цилиндра, измеренная с помощью термометра,  $t_{XB}$  - начальная температура холодной воды, измеренная с помощью термометра.

Для остывания металлического цилиндра количество теплоты:

$$Q_2 = c_T \cdot m_T \cdot (t_T - t_K).$$

где  $c_T$  - удельная теплоемкость металла, из которого изготовлен цилиндр (искомая величина),  $m_T$  - масса цилиндра, которую можно установить самим,  $t_T$  - температура горячей воды и, соответственно, начальная температура цилиндра, измеренная с помощью термометра,  $t_K$  - установившаяся конечная температура воды и цилиндра, измеренная с помощью термометра.

В обеих формулах мы вычитаем из большей температуры меньшую, для того чтобы количества теплоты имело положительного значение.

Как было установлено выше, из-за процесса теплообмена между холодной водой и металлическим цилиндром их количества теплоты равны:

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow c_B m_B (t_K - t_{XB}) + c_K m_K (t_K - t_{XB}) = c_T \cdot m_T \cdot (t_T - t_K).$$

Следовательно, удельная теплоемкость материала цилиндра:

$$c_T = \frac{(c_B \cdot m_B + m_K c_K)(t_K - t_{XB})}{m_T (t_T - t_K)} \quad (4.3)$$

Ход работы

1. Запустить виртуальный стенд.



2. Выбрать материал исследуемого образца: свинец, олово, цинк, железо, алюминий.
3. Установить массу цилиндра  $m_T$  в таблице, которая находится снизу в правом углу.
4. Установить параметры калориметра  $m_K, c_K$ .
5. Установить объём воды  $V_B$ . Теплоёмкость воды известна  $c_B$ .
6. Устанавливаем начальную температуру воды  $t_{XB}(t_0)$ .
7. Зная объём, вычислить массу воды  $m_B$ .
8. Включить нагреватель, нажав кнопку «пуск» и нагреть калориметр с водой.
9. Поместить цилиндр в нагретую воду, нажать кнопку «пауза», записать температуру цилиндра  $t_T$ . Она будет равна температуре воды в калориметре.
10. Поместить цилиндр в калориметр с холодной водой, нажать кнопку «пуск», дождаться установления теплового равновесия. Измерить температуру при тепловом равновесии  $t_K$ .
11. Итоги вычислений занести в таблицу.
12. Определить оценку абсолютной и относительной погрешности измерения.

Масса воды в калориметре	Масса калориметра	Масса цилиндра	Удельная теплоемкость калориметра	Удельная теплоемкость воды	Начальная температура воды	Начальная температура цилиндра	Конечная температура
$m_B, \text{КГ}$	$m_K, \text{КГ}$	$m_T, \text{КГ}$	$c_K, \text{ДЖ} / \text{КГ} \cdot \text{°С}$	$t_{XB}, \text{°С}$	$c_B, \text{ДЖ} / \text{КГ} \cdot \text{°С}$	$\square_T, \text{°С}$	$\square_K, \text{°С}$

Температура холодной воды	Удельная теплоемкость цилиндра	Табличное значение удельной теплоемкости	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$t_{хв}, ^\circ\text{C}$	$c_t, \text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$	$c_{таб}, \text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\Delta c, \text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$	$\varepsilon_c, \%$

13. Сформулировать выводы.

#### *Контрольные вопросы*

1. Что такое теплота?
2. Сформулируйте 1 и 2 начала термодинамики.
3. Какие виды теплопередачи вы знаете? Какие из них осуществлялись в рассматриваемой работе? Выделите из них основные.
4. Опишите устройство калориметра. Какова роль воздушной прослойки между наружным и внутренним стаканами прибора?
5. Что изменилось бы в ходе эксперимента, если бы мы не перемешивали ложечкой воду в калориметре? Как это сказалось бы на результатах?
6. Что нужно было бы сделать, чтоб уменьшить потери тепла на излучение?
7. Если к твердым телам с одинаковой массой и начальной температурой подвести одинаковое количество теплоты (все материалы остаются твердыми), то температура вещества с большей теплоемкостью будет больше, меньше или равна температуре тела с меньшей теплоемкостью?
8. Из наблюдений известно, что в летний день суша нагревается и остывает быстрее, чем вода в озере. Что можно сказать про удельные теплоемкости суши и воды (какая из величин больше)?
9. Запишите основные приборы и оборудование, необходимые для проведения данной работы.

#### *Определение удельной теплоты сгорания топлива*

*Цель работы:* вычислить удельную теплоту сгорания топлива методом нагрева жидкости.

#### *Краткая теория*

Известно, что источником энергии, которая используется в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, в быту является топливо. Это уголь, нефть, торф, дрова, природный газ и др.

Топливо – это источник энергии (энергонасоситель).

При сгорании топлива выделяется энергия, которая затем переводится в различные виды энергии (чаще всего через преобразование выделяемого при реакциях тепла тепловых двигателей).

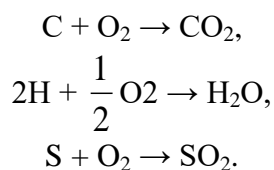
Калориметрия (от лат. calor – тепло и греч. metreo – измеряю) – совокупность методов измерения количества теплоты, выделившейся или поглощенной в каком-либо физическом, химическом или биологическом процессе. Методами калориметрии определяют теплоёмкости, теплоты фазовых переходов, растворения, сорбции, тепловые эффекты химических реакций (например, реакций горения), реакций обмена веществ в живых организмах, калорийность пищевых продуктов и т.д.

Сущность метода состоит в том, что выделившееся в процессе тепло нагревает определенный объем воды или какой-либо другой жидкости. По изменению температуры жидкости вычисляют количество теплоты.

Приборы, применяемые в калориметрии, называются калориметрами. Методы калориметрии широко применяют в промышленности для определения теплотворной способности (теплоты сгорания) топлива.

Теплота сгорания топлива – это количество теплоты  $Q$  (кДж), которое выделяется при полном сгорании 1 кг твёрдого, жидкого или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива.

Горючими элементами в топливе являются углерод С, водород Н и летучая горючая сера S. Элементарно их горение может быть представлено следующими уравнениями:



Углерод – основной носитель теплоты. Водород – второй наиболее важный элемент топлива. Сера при сгорании выделяет большое количество теплоты, однако сернистые соединения повышают коррозию металлических деталей печей и в окружающей среде способствуют образованию кислотных осадков.

Определение теплотворной способности топлива производится путём сжигания топлива в атмосфере кислорода. Теплота, выделяющаяся при горении топлива, поглощается жидкостью. Зная массу жидкости, по изменению ее температуры вычисляют теплоту сгорания.

Расчетная формула для количества теплоты, выделившейся при полном сгорании топлива:

$$Q_1 = q \cdot \Delta m, \quad (19.1)$$

где  $Q$  – количество выделившейся теплоты (Дж),  $q$  – удельная теплота сгорания (Дж/кг),  $\Delta m$  – масса сгоревшего топлива (кг).

Количество теплоты, необходимое для нагревания жидкости, прямо пропорционально массе жидкости и изменению ее температуры:

$$Q_2 = c \cdot m \cdot (t - t_0), \quad (19.2)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость жидкости [Дж/кг·К],  $m$  – масса жидкости [кг],  $(t - t_0)$  – изменение температуры жидкости [К].

Пусть при горении топлива часть тепла теряется (диссипация энергии в окружающую среду, нагревание калориметра и т.д). Обозначим за  $\eta$  долю тепла поглощённую жидкостью, т.е. КПД тепловой установки, тогда имеет место равенство

$$\eta Q_1 = Q_2, \quad (19.3)$$

$$\eta q \Delta m = c \cdot m \cdot (t - t_0). \quad (19.4)$$

Зная массу сгоревшего топлива и параметры жидкости, можем определить удельную теплоту сгорания топлива

$$q = \frac{c \cdot m \cdot (t - t_0)}{\eta \Delta m}, \quad (19.5)$$

с учётом, что  $m = \rho \cdot V$ , окончательно получим

$$q = \frac{c \cdot \rho \cdot V \cdot (t - t_0)}{\eta \Delta m} \quad (19.6)$$

Для определения удельной теплоты сгорания топлива предназначена модель экспериментальной установки, общий вид которой показан на рис. 19.1.

#### *Ход работы*

1. Ознакомиться с экспериментальной установкой и подготовить ее к работе.
2. Выбрать жидкость. Установить параметры жидкости  $t_0$ ,  $V$ . Значения занести в таблицу 19.1.
3. Выбрать топливо. Измерить начальную массу топлива  $m_1$  с помощью электронных весов. Полученные значения занесите в таблицу 19.1.

4. Установить КПД тепловой установки  $\eta$ . Значение занести в таблицу 19.1.
5. Сжечь топливо, положив его в горелку и нажав кнопку «пуск».
6. Нагреть жидкость на 30 – 50°C от первоначальной температуры. Новое показание термометра  $t$  занести в таблицу.
7. Остановить горение кнопкой «пауза» и измерить массу топлива  $m_2$  помощью электронных весов. Полученные значения занести в таблицу 19.1.
8. Определить массу сгоревшего топлива  $\Delta m = m_1 - m_2$ .
9. Вычислить по формуле (19.6) значение удельной теплоты сгорания топлива. Данные опыта занести в таблицу 19.1.
11. Нажмите на кнопку «стоп» и повторите пункты 2 – 9 для той же жидкости несколько раз.
12. Рассчитать среднее значение исследуемой величины и оценить погрешность эксперимента.

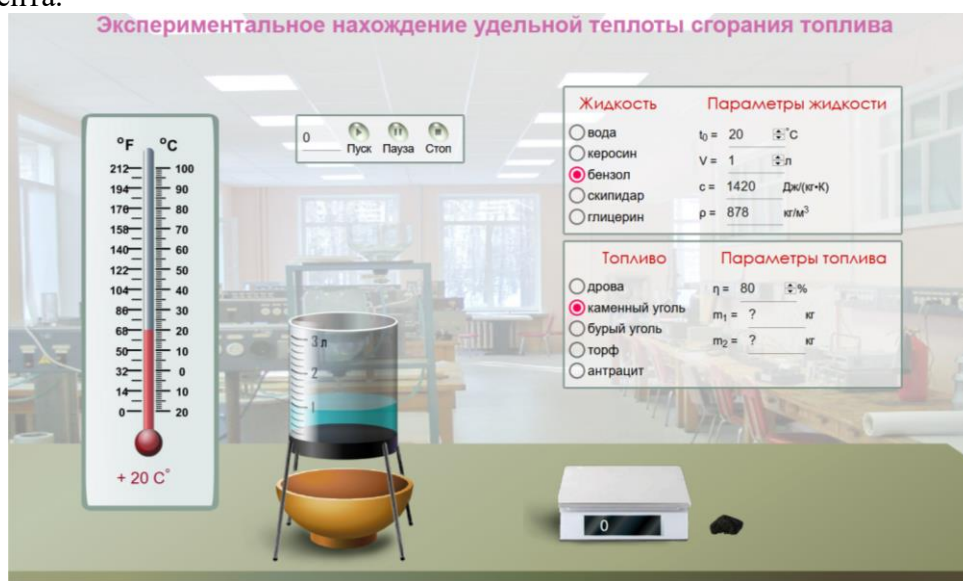


Рисунок 19.1. Лабораторная установка

Таблица 19.1

№ п/п	$c$ , Дж/ кг·К	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$t_0$ , °C	$V$ , м <sup>3</sup>	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$\Delta m$ , кг	$\eta$	$t$ , °C	$q$ , Дж/кг	$q_{\text{ср}}$ , Дж/кг	$q_{\text{т}}$ , Дж/кг	$\Delta q$ , Дж/кг	$\varepsilon_q$ , %
1														
2														
...														

11. Сформулировать выводы.

#### Контрольные вопросы

1. Дайте определение, что называют количеством теплоты?
2. Как обозначается данная величина?
3. Каковы единицы измерения данной физической величины?
4. Физический смысл теплоемкости?
5. Физический смысл удельной теплоты сгорания топлива?

#### Контрольная работа

Перечень вопросов для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Владения»

Вариант 1

1. Масса  $1 \text{ м}^3$  метана при определенных условиях составляет 0.7 кг. Определить плотность и удельный объем метана при этих условиях.

2. Каковы удельный объем и плотность углекислого газа в баллоне углекислого огнетушителя емкостью 5 л, если масса заряда углекислого газа 3.5 кг?

3. При обследовании предприятия химической промышленности в одном из помещений обнаружено 100 кг метана. Анализ показал плотность  $0.8 \text{ кг/м}^3$ . Определить объем помещения.

4. Ртутный вакуумметр показывает разряжение 500 мм рт. ст. Показание ртутного барометра, приведенное к  $0^\circ \text{С}$ , 720 мм рт. ст. Найти абсолютное давление, выраженное в Па, кПа, МПа, мм рт. ст., мм вод. ст.

5. Во сколько раз больше воздуха (по массе) вмещает резервуар при  $10^\circ \text{С}$ , чем при  $50^\circ \text{С}$ , если давление остается неизменным?

6. В  $1 \text{ м}^3$  сухого воздуха содержится примерно  $0.21 \text{ м}^3$  кислорода и  $0.79 \text{ м}^3$  азота. Определить массовый состав воздуха, его газовую постоянную и парциальные давления кислорода и азота.

#### *Вариант 2*

1. Плотность воздуха при определенных условиях равна  $1.293 \text{ кг/м}^3$ . Определить удельный объем воздуха при этих условиях.

2. Манометр, установленный в легковом автомобиле показывает давление масла в двигателе  $4 \text{ кг/см}^2$  при показании барометра 720 мм рт. ст. Каково абсолютное давление масла, выраженное в Па, кПа, МПа, мм рт. ст., мм вод. ст.?

3. Насос развивает абсолютное давление 0.002 МПа, при атмосферном по барометру 50 мм вод. ст. Определить давление разряжения.

4. Выразить в единицах СИ: а)  $15 \text{ кг/см}^2$ ; б) 720 мм вод. ст.; в) 5.5 ат.

5. Какова будет плотность кислорода при температуре  $0^\circ \text{С}$  и давлении 600 мм рт. ст., если при 760 мм рт. ст. и  $15^\circ \text{С}$  она равна  $1.310 \text{ кг/м}^3$ .

6. Определить газовую постоянную смеси газов, состоящей из  $1 \text{ м}^3$  генераторного газа и  $1.5 \text{ м}^3$  воздуха, взятых при нормальных условиях, и найти парциальные давления составляющих смеси. Плотность генераторного газа принять равной  $1.2 \text{ кг/м}^3$ .

#### *Вариант 3*

1. В сосуде объемом  $0.9 \text{ м}^3$  находится 1.5 кг окиси углерода. Определить удельный объем и плотность окиси углерода при указанных условиях.

2. Абсолютное давление кислорода в баллоне  $20 \text{ кг/см}^2$ , при барометрическом давлении 760 мм вод. ст. Определить остаточное давление в баллоне кислородного изолирующего противогаза.

3. Каковы будут показания манометра давления масла (в Па, кПа, МПа, мм рт. ст., мм вод. ст.) после подъема автомобиля в горной местности, где атмосферное давление 20 мм рт. ст., если абсолютное давление 400 мм вод. ст.

4. В баллоне КИП-5 находится 0.5 кг сжатого газообразного кислорода. Определить удельный объем и плотность кислорода в баллоне.

5. При какой температуре 1 кмоль газа занимает объем  $4 \text{ м}^3$ , если давление газа  $P = 1 \text{ кПа}$ ?

6. Объемный состав сухих продуктов сгорания топлива (не содержащих водяных паров) следующий:  $\text{CO}_2 = 12.3\%$ ;  $\text{O}_2 = 7.2\%$ ;  $\text{N}_2 = 80.5\%$ . Найти молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и удельный объем продуктов сгорания при давлении 750 мм. рт. ст. и температуре  $800^\circ \text{С}$ .

#### *Вариант 4*

1. Давление воздуха, измеренное ртутным барометром, равно 765 мм при температуре ртути  $20^\circ \text{С}$ . Выразить давление в барах.

2. Какой объем занимает 1 кмоль газа при давлении 2 МПа и температуре  $200^\circ \text{С}$ ?

3. Выразить в единицах СИ давление, если имеем:

а) в кислородном баллоне  $200 \text{ кг/см}^2$ ;

б) при проверке герметичности противогаса КИП-8 100 мм вод. ст.;

в) разрежение 660 мм рт. ст.

4. Манометр на гидравлическом прессе показал давление 30 ат. Найти абсолютное давление в корпусе огнетушителя, если атмосферное давление по барометру 1040 мм вод. ст.

5. В баллоне находится 0.5 кг сжатого газообразного кислорода при температуре 295 К. Его плотность  $250 \text{ кг/м}^3$ . Определить температуру газа в Международной практической шкале, его удельный объем и объем баллона.

6. Генераторный газ имеет следующий объемный состав:  $\text{H}_2 = 7\%$ ;  $\text{CH}_4 = 2\%$ ;  $\text{CO} = 27.6\%$ ;  $\text{CO}_2 = 4.85\%$ ;  $\text{N}_2 = 58.6\%$ . Определить массовые доли, молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и парциальные давления при  $15^\circ\text{C}$  и 0.1 МПа.

#### *Вариант 5*

1. Определить абсолютное давление газа в сосуде, если показание ртутного манометра равно 500 мм рт. ст., а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 750 мм. Температура воздуха в месте установки приборов равна  $0^\circ\text{C}$ .

2. Какой объем занимают 10 кмоль азота при нормальных условиях?

3. В центробежном насосе абсолютное давление 20 кПа, при атмосферном по барометру 745 мм рт. ст. Определить давление разрежения.

4. Газоструйный эжектор пожарного автонасоса создает разрежение 500 мм рт. ст. Определить, с какой глубины он может забирать воду при нормальных физических условиях. Плотности воды и ртути принять равным  $\rho_{\text{в}} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{рт}} = 13.6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

5. Ртутный вакуумметр показывает разрежение 200 мм рт. ст. Показание барометра, находящегося на высоте, 4000 мм вод. ст. Каково абсолютное давление выраженное в Па, кПа, МПа, мм рт. ст., м вод. ст.?

6. Газ коксовых печей имеет следующий объемный состав:  $\text{H}_2 = 57\%$ ;  $\text{CH}_4 = 23\%$ ;  $\text{CO} = 6\%$ ;  $\text{CO}_2 = 2\%$ ;  $\text{N}_2 = 12\%$ . Определить молекулярную массу, массовые доли, газовую постоянную и плотность при температуре  $15^\circ\text{C}$  и давлении 1 бар.

### **Решение задач**

Перечень заданий для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Умения»

#### **ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА**

1. Масса  $1 \text{ м}^3$  метана при определенных условиях составляет 0.7 кг. Определить плотность и удельный объем метана при этих условиях.

2. Плотность воздуха при определенных условиях равна  $1.293 \text{ кг/м}^3$ . Определить удельный объем воздуха при этих условиях.

3. В сосуде объемом  $0.9 \text{ м}^3$  находится 1.5 кг окиси углерода. Определить удельный объем и плотность окиси углерода при указанных условиях.

4. Давление воздуха, измеренное ртутным барометром, равно 765 мм при температуре ртути  $20^\circ\text{C}$ . Выразить давление в барах.

5. Определить абсолютное давление газа в сосуде, если показание ртутного манометра равно 500 мм рт. ст., а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 750 мм. Температура воздуха в месте установки приборов равна  $0^\circ\text{C}$ .

6. Определить абсолютное давление в паровом котле, если манометр показывает 2.45 бар, а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 700 мм при  $t = 20^\circ\text{C}$ .

7. Определить абсолютное давление в паровом котле, если манометр показывает 2.45 бар, а атмосферное давление по ртутному барометру составляет 700 мм при  $t = 20^\circ\text{C}$ .

#### **ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ**

1. Определить плотность окиси углерода при давлении 1 бар и температуре  $15^\circ\text{C}$ .

2. Определить плотность и удельный объем двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) при нормальных условиях.

3. Определить массу кислорода, содержащегося в баллоне емкостью 57 л, если давление кислорода по манометру равно 11.8 бар, а показание ртутного барометра – 738 мм рт. ст. при температуре 28°C.

4. Чему равна плотность воздуха при давлении 15 бар и температуре 20°C, если плотность воздуха при нормальных условиях равна 1.293 кг/м<sup>3</sup>?

5. В цилиндре с подвижным поршнем находится 0.8 м<sup>3</sup> воздуха при давлении 5 бар. Как должен измениться объем, чтобы при повышении давления до 8 бар температура воздуха не изменилась?

6. При какой температуре плотность азота (давлении 1.5 МПа) будет равна 3 кг/м<sup>3</sup>

7. Во сколько раз изменится плотность газа в сосуде, если при постоянной температуре показание манометра от  $p_1 = 18$  бар уменьшится до  $p_2 = 3$  бар? Барометрическое давление принять равным 1 бар.

### ГАЗОВЫЕ СМЕСИ

1. В 1 м<sup>3</sup> сухого воздуха содержится примерно 0.21 м<sup>3</sup> кислорода и 0.79 м<sup>3</sup> азота. Определить массовый состав воздуха, его газовую постоянную и парциальные давления кислорода и азота.

2. Определить газовую постоянную смеси газов, состоящей из 1 м<sup>3</sup> генераторного газа и 1.5 м<sup>3</sup> воздуха, взятых при нормальных условиях, и найти парциальные давления составляющих смеси. Плотность генераторного газа принять равной 1.2 кг/м<sup>3</sup>

3. Объемный состав сухих продуктов сгорания топлива (не содержащих водяных паров) следующий: CO<sub>2</sub> = 12.3%; O<sub>2</sub> = 7.2%; N<sub>2</sub> = 80.5%. Найти молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и удельный объем продуктов сгорания при давлении 750 мм. рт. ст. и температуре 800°C.

4. Генераторный газ имеет следующий объемный состав: H<sub>2</sub> = 7%; CH<sub>4</sub> = 2%; CO = 27.6%; CO<sub>2</sub> = 4.85%; N<sub>2</sub> = 58.6%. Определить массовые доли, молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и парциальные давления при 15°C и 0.1 МПа.

5. Газ коксовых печей имеет следующий объемный состав: H<sub>2</sub> = 57%; CH<sub>4</sub> = 23%; CO = 6%; CO<sub>2</sub> = 2%; N<sub>2</sub> = 12%. Определить молекулярную массу, массовые доли, газовую постоянную и плотность при температуре 15°C и давлении 1 бар.

6. Генераторный газ состоит из следующих объемных частей: H<sub>2</sub> = 18%; CO = 24%; CO<sub>2</sub> = 6%; N<sub>2</sub> = 52%. Определить газовую постоянную генераторного газа и массовый состав входящих в смесь газов.

7. Анализ продуктов сгорания топлива показал следующий их состав: CO<sub>2</sub> = 12.2%; O<sub>2</sub> = 7.1%; CO = 0.4%; N<sub>2</sub> = 80.3%. Определить массовый состав входящих в смесь газов.

### ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ И ИХ СМЕСЕЙ

1. Определить значение массовой теплоемкости кислорода при постоянном объеме и постоянном давлении, считая  $C = \text{const}$ .

2. Определить среднюю массовую теплоемкость углекислого газа при постоянном давлении в пределах 0 – 825°C, считая зависимость от температуры нелинейной.

3. Вычислить значение истинной мольной теплоемкости кислорода при постоянном давлении для температуры 1000°C, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной. Определить относительную ошибку по сравнению с табличными данными.

4. Найти среднюю теплоемкость  $\bar{c}_p$  и  $\bar{c}'_v$  в пределах от 200°C до 800°C для CO, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной.

5. Найти среднюю теплоемкость  $\bar{c}'_p$  и  $\bar{c}'_v$  для воздуха в пределах 400 – 1200°C, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

6. Найти среднюю теплоемкость  $\bar{c}_p$  и  $\bar{c}'_v$  углекислого газа в пределах 400 – 1000°C, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

7. Определить среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме для азота в пределах 200 – 800°C, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.



## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

1. Газ при давлении 10 бар и температуре 20°C нагревается при постоянном объеме до температуры 300°C. Определить конечное давление газа.
2. В закрытом сосуде емкостью 0.3 м<sup>3</sup> содержится 2.75 кг воздуха при давлении 8 бар и температуре 25°C. Определить давление и удельный объем после охлаждения воздуха до 0°C.
3. До какой температуры нужно нагреть газ при  $V = \text{const}$ , если начальное давление газа 2 бар и температура 20°C, а конечное давление 5 бар.
4. В закрытом сосуде емкостью 0.5 м<sup>3</sup> содержится двуокись углерода при  $p_1 = 6$  бар и  $t_1 = 527^\circ\text{C}$ . Как изменится давление газа, если от него отнять 100 ккал? Принять зависимость  $C = f(t)$  линейной.
5. До какой температуры нужно охладить 0.8 м<sup>3</sup> воздуха с начальным давлением 3 бар и температурой 15°C, чтобы давление при постоянном объеме понизилось до 1 бар? Какое количество тепла нужно для этого отвести? Теплоемкость воздуха принять постоянной.
6. Сосуд объемом 60 л заполнен кислородом при давлении 125 бар. Определить конечное давление кислорода и количество сообщенного ему тепла, если начальная температура кислорода 10°C, а конечная – 30°C. Теплоемкость кислорода считать постоянной, не зависящей от температуры.
7. Газовая смесь, имеющая следующий массовый состав: CO<sub>2</sub> – 14%; O<sub>2</sub> – 6%; N<sub>2</sub> – 75%; H<sub>2</sub>O – 5%, нагревается при постоянном давлении от 600 до 2000°C. Определить количество тепла, подведенного к 1 кг газовой смеси. Зависимость теплоемкости от температуры принять нелинейной.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

1. Определить термический КПД цикла Карно (рис.20), давление, объем и температуру во всех точках, работу цикла, количество подведенного и отведенного, тепла, если известно, что рабочим телом является 1 кг сухого воздуха,  $p_1 = 1$  ат,  $v_1 = 1.3$  м<sup>3</sup>/кг,  $T_3 = T_4 = 890$  К,  $p_2 = 4$  ат,  $\gamma = 1.4$ .
2. Определить параметры всех точек цикла Карно (рис.20), работу  $a_{\text{ц}}$  и термический КПД цикла, если рабочим телом является 1 кг сухого воздуха, подведенное тепло  $q_1 = 712$  кДж/кг,  $p_1 = 0.98$  бар,  $t_1 = 33^\circ\text{C}$ ,  $t_3 = 800^\circ\text{C}$ , показатель адиабаты  $\gamma = 1.4$ .
3. Определить параметры точек цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме (рис. 22), если известно, что  $p_1 = 0.78$  бар,  $t_1 = 87^\circ\text{C}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 7.0$  и степень повышения давления  $\lambda = 23$ , рабочим телом является 1 кг сухого воздуха, показатель адиабаты  $\gamma = 1.4$ .
4. Определить количество подведенного и отведенного тепла, работу сжатия, работу расширения, полезную работу и КПД цикла предыдущей задачи. Сравнить КПД данного цикла с КПД цикла Карно, протекающего в том же интервале температур. Определить также мощность, если расход воздуха 10 кг/ч. Теплоемкость принять постоянной.
5. Определить параметры точек цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении (рис. 23), если  $p_1 = 0.676$  бар,  $t_1 = 45^\circ\text{C}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 13$ , степень предварительного расширения  $\rho = 2.2$ ; рабочее тело – сухой воздух, показатель адиабаты принять постоянным  $\gamma = 1.4$ .
6. Определить для цикла задачи 5 количество подведенного  $q_1$  и отведенного  $q_2$  тепла, работу сжатия, работу расширения, КПД цикла и мощность при расходе воздуха 1 кг/с. Теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  принять постоянными.
7. Определить параметры точек смешанного термического цикла ДВС (рис. 24), если  $p_1 = 0.83$  бар,  $t_1 = 57^\circ\text{C}$ , степень сжатия  $\varepsilon = 15$ ; степень повышения давления  $\lambda = 1.6$ ; степень предварительного расширения  $\rho = 1.4$ ; показатель адиабаты  $\gamma = 1.4$ ; рабочим телом является 1 кг сухого воздуха.

Перечень вопросов для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Владения»

1. Определить количество теплоты, передаваемое в единицу времени через стену из силикатного кирпича длиной 3 м, высотой 2 м, если толщина стены и температуры на поверхностях стены следующие:

Вариант	$\delta$ , мм	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C
I	100	20	-10
II	150	20	-15
III	200	30	-20
IV	250	35	-25
V	300	35	-30

2. Противопожарный занавес для театральной сцены теплоизолирован. Рассчитать толщину этой теплоизоляции, если температура на необогреваемой поверхности занавеса не должна превышать 160°C. Плотность теплового потока  $q$ , материал занавеса и температуру на обогреваемой стороне занавеса ( $t_1$ ) принять в соответствии со своим вариантом

Вариант	материал	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_1$ , °C
I	совелит	1400	2000
II	вермикулит	1550	1750
III	совелит	1650	1500
IV	вермикулит	1700	1250
V	вермикулит	1750	1200

3. Между слоями красного и шамотного кирпича, толщина каждого из которых 12 см, засыпан котельный шлак. Рассчитать толщину этой засыпки с условием, чтобы температура на наружной поверхности красного кирпича не превышала 90°C. Температура на обогреваемой поверхности шамотного кирпича и плотность теплового потока соответственно равны:

Вариант	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_1$ , °C
I	850	600
II	950	650
III	1050	700
IV	1150	750
V	1250	800

Коэффициент теплопроводности материалов взять при средней температуре стены.

4. Определить плотность теплового потока от поверхности печи к сгораемой поверхности в конвективном теплообмене при условии, толщина противопожарной закрытой отступки 15 см. что температура сгораемой поверхности 50 °C, а температура поверхности печи соответственно равна:

Вариант	$t_{w1}$ , °C
I	100
II	120
III	140
IV	160
V	180

5. Определить плотность теплового потока от дымовых газов к поверхности дымохода длиной 20 м сечением 125×125 мм. Дымовые газы движутся со скоростью 3 м/с.

Средняя температура дымовых газов ( $t_f$ ) и температура поверхности дымохода ( $t_w$ ) соответственно равны:

Вариант	$t_f, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$
I	500	350
II	450	325
III	400	300
IV	350	250
V	300	200

6. Найти максимальную высоту штабеля сосновых досок, если размер досок и расстояние между штабелями соответственно равны:

Вариант	длина доски, м	l, м
I	3	2
II	4	3
III	5	4
IV	6	5
V	7	6

Все недостающие данные взять в соответствующих приложениях

7. Рассчитать толщину слоя тепловой изоляции из альфоля гофрированного, расположенного между слоями силикатного и шамотного кирпича толщиной 215 мм. Температура на наружной поверхности не должна превышать  $90^\circ\text{C}$ . Температура на внутренней поверхности силикатного кирпича и плотность теплового потока соответственно равны:

Вариант	$q, \text{Вт/м}^2$	$t_1, ^\circ\text{C}$
I	1000	300
II	1100	400
III	1200	500
IV	1300	600
V	1400	700

### Перечень вопросов к зачету

#### ТЕРМОДИНАМИКА

- Газ как рабочее тело термодинамических систем.
- Идеальный и реальный газы.
- Термодинамические параметры состояния вещества. Давление. Температура. Масса. Объем.
- Основное уравнение кинетической теории газов.
- Законы Бойля – Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Уравнение Клайперона.
- Газовая постоянная. Уравнение Клайперона – Менделеева.
- Понятие о газовой смеси как рабочем теле.
- Способы задания газовых смесей.
- Средняя молекулярная масса, плотность и объем газовой смеси. Относительный объемный состав газовой смеси.
- Понятие о количестве теплоты и теплоёмкости.
- Массовая, объемная и киломолярная теплоёмкость газов.
- Теплоёмкость газа при постоянном объеме и постоянном давлении.
- Истинная и средняя теплоёмкости.

14. Теплоемкость газовой смеси.
15. Термодинамическая система и процессы, протекающие в ней.
16. Внутренняя энергия и работа термодинамической системы.
17. Первый закон (начало) термодинамики. Энтальпия.
18. Изохорный процесс.
19. Изобарный процесс.
20. Изотермический процесс.
21. Адиабатный процесс.
22. Политропный процесс.
23. Прямые и обратные циклы.
24. Коэффициент полезного действия цикла.
25. Цикл Карно и его термический коэффициент полезного действия.
26. Второй закон (начало) термодинамики. Понятие энтропии.
27. Возрастание энтропии в реальных процессах.
28. Термодинамический цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме.
29. Истечение газов и паров. Основные уравнения.
30. Скорость истечения. Массовый расход.
31. Максимальный массовый расход и критическая скорость истечения.
32. Сопло Лавала.
33. Дросселирование газов и паров.

#### ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

34. Основные понятия и определения.
35. Закон теплопроводности Фурье и коэффициент теплопроводности.
36. Теплопроводность однослойной плоской стенки.
37. Теплопроводность многослойной плоской стенки.
38. Теплопроводность однослойной цилиндрической стенки.
39. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки.
40. Сущность конвективного теплообмена и факторы, определяющие его интенсивность.
41. Общие понятия теории подобия.
42. Конвективный теплообмен при естественной конвекции в большом объеме.
43. Конвективный теплообмен при вынужденном движении жидкости.
44. Теплообмен при кипении жидкостей.
45. Теплообмен при конденсации пара.
46. Баланс лучистого теплообмена и его основные характеристики.
47. Законы лучистого теплообмена.
48. Лучистый теплообмен между двумя плоскопараллельными поверхностями.
49. Лучистый теплообмен между телами, произвольноориентированными в пространстве.
50. Лучистый теплообмен при наличии экранов.
51. Излучение газообразных продуктов сгорания.
52. Излучение факела.
53. Определение минимальных расстояний между зданиями и сооружениями, а также условий безопасности работы пожарных подразделений.

54. Передача теплоты через плоскую однослойную стенку.
55. Передача теплоты через плоскую многослойную стенку.
56. Передача теплоты через цилиндрическую однослойную стенку.
57. Передача теплоты через цилиндрическую многослойную стенку.
58. Изменение температуры и энтальпии тел при нагревании.
59. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
60. Нестационарная теплопроводность полуограниченного тела при стационарных граничных условиях. Нестационарная теплопроводность плоской стенки.
61. Нестационарная теплопроводность сплошного цилиндра.
62. Температурный режим при пожаре в помещениях.
63. Нестационарная теплопроводность полуограниченного тела при стандартном температурном режиме.
64. Нестационарная теплопроводность плоской стенки при произвольном температурном режиме.
65. Основные определения и схемы теплообменных аппаратов.
66. Расчет теплообменных аппаратов. Приближенный поверочный расчет теплообменных аппаратов.

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
1. Устный опрос	1	7	0	7
2. Решение задач	2	3	0	6
<b>Рубежный контроль</b>				
3. Контрольная работа	15	1	0	15
4. Реферат	10	1	0	10
<b>Модуль 2</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
1. Устный опрос	1	6	0	6
2. Решение задач	2	3		6
<b>Рубежный контроль</b>				
3. Домашняя контрольная работа	15	1	0	15
4. Реферат	10	1	0	10
<b>Поощрительные баллы</b>			0	10
<b>Итого</b>			0	<b>110</b>
<b>Итоговый контроль зачет</b>			0	<b>110</b>
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
Посещение лекционных занятий			-6	0
Посещение практических (семинарских) занятий			-10	0

<b>ВСЕГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>-16</b>	<b>110</b>
-------------------------	------------	------------

Результаты обучения по дисциплине (модулю) у обучающихся оцениваются по итогам текущего контроля количественной оценкой, выраженной в рейтинговых баллах. Оценке подлежит каждое контрольное мероприятие.

При оценивании сформированности компетенций применяется четырехуровневая шкала «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично».

Максимальный балл по каждому виду оценочного средства определяется в рейтинг-плане и выражает полное (100%) освоение компетенции.

Уровень сформированности компетенции «хорошо» устанавливается в случае, когда объем выполненных заданий соответствующего оценочного средства составляет 80-100%; «удовлетворительно» – выполнено 40-80%; «неудовлетворительно» – выполнено 0-40%

Рейтинговый балл за выполнение части или полного объема заданий соответствующего оценочного средства выставляется по формуле:

$$\text{Рейтинговый балл} = k \times \text{Максимальный балл},$$

где  $k = 0,2$  при уровне освоения «неудовлетворительно»,  $k = 0,4$  при уровне освоения «удовлетворительно»,  $k = 0,8$  при уровне освоения «хорошо» и  $k = 1$  при уровне освоения «отлично».

Оценка на этапе промежуточной аттестации выставляется согласно Положению о модульно-рейтинговой системе обучения и оценки успеваемости студентов БашГУ:

На зачете выставляется оценка:

- зачтено - при накоплении от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),
- не зачтено - при накоплении от 0 до 59 рейтинговых баллов.

При получении на экзамене оценок «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», на зачёте оценки «зачтено» считается, что результаты обучения по дисциплине (модулю) достигнуты и компетенции на этапе изучения дисциплины (модуля) сформированы.