

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра машиностроения и транспорта**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕПЛОТЕХНИКА**

**Б1. Б.24**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических  
машин и комплексов**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Автомобили и автомобильное хозяйство**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости.....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	6
4.3 Лабораторные работы.....	17
4.4 Практические занятия.....	17
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	17
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>18</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>19</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>19</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>20</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>20</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ..	20
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>26</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>26</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>27</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>39</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>40</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является получение знаний о методах преобразования, передачи и использования теплоты в такой степени, чтобы они могли выбирать и эксплуатировать необходимое теплотехническое оборудование в области автомобильного транспорта, обеспечивая максимальную экономию топливно-энергетических ресурсов и материалов, интенсификацию и оптимизацию технологических процессов, выявление и использование вторичных ресурсов, а также получение практических навыков в решении инженерных задач.

## Задачи дисциплины:

- получение знаний о теплотехнической терминологии, о законах получения и преобразования энергии, методах анализа эффективности использования теплоты;
- получение знаний о принципах действия, схем, областей применения и потенциальных возможностях основного теплотехнического и теплоэнергетического оборудования (тепловые двигатели, теплообменники, печи и др.);
- приобретение умения экспериментально определять и теоретически рассчитывать характеристики теплового и теплоэнергетического оборудования, производить измерение основных теплотехнических показателей, связанных с профилем инженерной деятельности.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-12	владением знаниями направлений полезного использования природных ресурсов, энергии и материалов при эксплуатации, ремонте и сервисном обслуживании транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования различного назначения, их агрегатов, систем	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные законы термодинамики и теории тепло-массообмена;</li> <li>- способы интенсификации теплообмена;</li> <li>- принципы теплоизоляции;</li> </ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать методы анализа функционирования теплотехнических устройств и аппаратов, способы экономии тепловой энергии, способы использования вторичных энергетических ресурсов;</li> </ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчета основных термодинамических процессов, тепловых циклов двигателей внутреннего сгорания, анализа их эффективности по исходным данным.</li> </ul>
ОПК-3	готовность применять систему фундаментальных знаний (математических, естественнонаучных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения техниче-	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные физические явления, фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики; современную научную аппаратуру; основные физические явления; фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики;</li> </ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах профессиональной деятельно-</li> </ul>

	ских и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов	сти; <b>владеть:</b> - методами выполнения элементарных исследований в области профессиональной деятельности.
--	--	---

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.24 «Теплотехника» относится к базовой части.

Дисциплина «Теплотехника» базируется на знаниях, полученных при изучении учебных дисциплин «Математика», «Физика».

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, дисциплина «Теплотехника» представляет основу для изучения дисциплин «Силовые агрегаты», «Автомобильные двигатели».

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

## 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная	3	-	72	10	4	-	6	58	-	зачет
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по курсам, час
			3
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	10	8	10
Лекции (Лк)	4	-	4
Практические занятия (ПЗ)	6	2	6
Групповые (индивидуальные) консультации*	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	58	-	58

Подготовка к практическим занятиям		27	-	27
Подготовка к зачету		31	-	31
<b>III. Промежуточная аттестация</b>	зачет	4	-	4
Общая трудоемкость дисциплины	час.	72	-	72
	зач. ед.	2	-	2

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся, и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Основы термодинамики</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
1.1.	Предмет теплотехники. Основные понятия и определения термодинамики.	5	-	-	5
1.2.	Первый закон термодинамики	6	1	-	5
1.3.	Второй закон термодинамики	5	-	-	5
1.4.	Термодинамические процессы	6	1	-	5
<b>2.</b>	<b>Техническая термодинамика</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>16</b>
2.1.	Термодинамические циклы ДВС	11	1	2	8
2.2.	Термодинамический цикл ГТУ	5	-	-	5
2.3.	Термодинамические циклы комбинированных двигателей	3	-	-	3
<b>3.</b>	<b>Основы теории теплообмена</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>22</b>
3.1.	Основные сведения теории теплообмена. Теплопроводность	12	1	2	9
3.2.	Конвекция. Теплопередача	12	-	2	10
3.3.	Излучение	3	-	-	3
	<b>ИТОГО</b>	<b>68</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>58</b>

##### 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

###### Раздел 1. Основы термодинамики

###### Тема 1.2. Первый закон термодинамики

###### Теплота и работа.

Тела, участвующие при протекании т/д процесса обмениваются энергией. Передача энергии от одного тела к другому происходит двумя способами.

1-й способ реализуется при непосредственном контакте тел, имеющих различную температуру, путем обмена кинетической энергией между молекулами соприкасающихся тел либо лучистым переносом внутренней энергии излучающих тел путем э/м волн. При этом энергия передается от более нагретого к менее нагретому.

Количество энергии, переданной 1-м способом от одного тела к другому, называется *количеством теплоты* –  $Q$  [Дж], а способ – передача энергии в *форме теплоты*.

2-й способ связан с наличием силовых полей или внешнего давления. Для передачи энергии этим способом тело должно либо передвигаться в силовом поле, либо изменять свой объем

под действием внешнего давления, То есть передачи энергии происходит при условии перемещения всего тела или его части в пространстве. При этом количество переданной энергии называется работой –  $L$  [Дж], а способ передача энергии в форме работы.

Количество энергии, полученное телом в форме работы называется работой совершенной над телом, а отданную энергию – затраченной телом работой.

Количество теплоты, полученное (отданное) телом и работа, совершенная (затраченная) над телом, зависят от условий перехода тела из начального состояния в конечное, т.е. зависят от характера т/д процесса.

### **Внутренняя энергия.**

В общем случае внутренней энергией называется совокупность всех видов энергий, заключенной в теле или системе тел. Эту энергию можно представить как сумму отдельных видов энергий: кинетической энергии молекул (поступательного и вращательного движения молекул); колебательного движения атомов в самой молекуле; энергии электронов; внутриядерной энергии; энергии взаимодействия между ядром молекулы и электронами; потенциальной энергии молекул.

В технической термодинамике рассматриваются только такие процессы, в которых изменяются кинетическая и потенциальная составляющие внутренней энергии. При этом знание абсолютных значений внутренней энергии не требуется. Поэтому внутренней энергией для идеальных газов называют кинетическую энергию движения молекул и энергию колебательных движений атомов в молекуле, а для реальных газов дополнительно включают потенциальную энергию молекул.

Внутренняя энергия ( $U$ ) является функцией двух основных параметров состояния газа, т.е.  $U = f(P, T)$ ,  $U = f(v, T)$   $U = f(P, v)$ . Каждому состоянию рабочего тела (системы) соответствует вполне определенное значение параметров состояния, то для каждого состояния газа будет характерна своя однозначная, вполне определенная величина внутренней энергии  $U$ . То есть  $U$  является функцией состояния газа. И разность внутренних энергий для двух каких-либо состояний рабочего тела или системы тел не будет зависеть от пути перехода от первого состояния во второе.

### **Первый закон термодинамики.**

Первый закон термодинамики является основой термодинамической теории и имеет огромное прикладное значение при исследовании термодинамических процессов. Этот закон является законом сохранения и превращения энергии:

*"Энергия не исчезает и не возникает вновь, она лишь переходит из одного вида в другой в различных физических процессах".*

Для термодинамических процессов закон устанавливает взаимосвязь между теплотой, работой и изменением внутренней энергии т/д системы:

*"Теплота, подведенная к системе, расходуется на изменение энергии системы и совершение работы".*

Уравнение первого закона термодинамики имеет следующий вид:

$$Q = (U_2 - U_1) + L, \quad (2.1)$$

где  $Q$  - количества теплоты подведенная (отведенная) к системе;

$L$  - работа, совершенная системой (над системой);

$(U_2 - U_1)$  - изменение внутренней энергии в данном процессе.

Если:

$Q > 0$  – теплота подводится к системе;

$Q < 0$  – теплота отводится от системы;

$L > 0$  – работа совершается системой;

$L < 0$  – работа совершается над системой.

Для единицы массы вещества уравнение первого закона термодинамики имеет вид:

$$q = Q/m = (u_2 - u_1) + l. \quad (2.2)$$

**В дальнейшем все формулы и уравнения будут даны в основном для единицы массы вещества.**

1-й закон т/д указывает, что для получения полезной работы ( $L$ ) в непрерывно действующем тепловом двигателе надо подводить (затрачивать) теплоту ( $Q$ ).

*"Двигатель, постоянно производящий работу и не потребляющий никакой энергии называ-*

ется вечным двигателем I рода."

Из этого можно высказать следующее определение 1-го закона термодинамики:

" Вечный двигатель первого рода невозможен".

### Теплоемкость газа.

Истинная теплоемкость рабочего тела определяется отношением количества подведенной (отведенной) к рабочему телу теплоты в данном т/д процессе к вызванному этим изменениям температуры тела.

$$C = dQ / dT, \text{ [Дж / К]}; \quad (2.3)$$

Теплоемкость зависит от внешних условий или характера процесса, при котором происходит подвод или отвод теплоты.

Различают следующие удельные теплоемкости:

$$\text{массовую} - c = C / m, \text{ [Дж/кг]}; \quad (2.4)$$

$$\text{молярную} - c_{\mu} = C / \nu, \text{ [Дж/моль]}; \quad (2.5)$$

где  $\nu$  - количества вещества [моль];

объемную -  $c' = C / V = c \cdot \rho$ , [Дж/м<sup>3</sup>], (2.6)

где -  $\rho = m / V$  - плотность вещества.

Связь между этими теплоемкостями:

$$c = c' \cdot \nu = c_{\mu} / \mu,$$

где -  $\nu = V/m$  - удельный объем вещества, [м<sup>3</sup>/кг];

$\mu = m / \nu$  - молярная (молекулярная) масса, [кг/моль].

Теплоемкость газов в большой степени зависит от тех условий, при которых происходит процесс их нагревания или охлаждения. Различают теплоемкости при постоянном давлении (изобарный) и при постоянном объеме (изохорный).

Таким образом различают следующие удельные теплоемкости:

$c_p, c_v$  - массовые изобарные и изохорные теплоемкости;

$c_{p\mu}, c_{v\mu}$  - молярные изобарные и изохорные теплоемкости;

$c'_p, c'_v$  - объемные изобарные и изохорные теплоемкости.

Между изобарными и изохорными теплоемкостями существует следующая зависимость:

$$c_p - c_v = R - \text{уравнение Майера}; \quad (2.7)$$

$$c_{p\mu} - c_{v\mu} = R_{\mu} \quad (2.8)$$

Теплоемкость зависит от температуры, которые даются в справочных литературах в виде таблицы как средние теплоемкости в интервале температур от 0 до  $t_x$ . Для определения средней теплоемкости в интервале температур от  $t_1$  до  $t_2$  можно использовать следующую формулу:

$$c|_{t_1}^{t_2} = (c|_{t_2}^{t_2} t_2 - c|_{t_1}^{t_1} t_1) / (t_2 - t_1). \quad (2.9)$$

### Универсальное уравнение состояния идеального газа.

Идеальным газом называется такой газ, у которого отсутствуют силы взаимного притяжения и отталкивания между молекулами и пренебрегают размерами молекул. Все реальные газы при высоких температурах и малых давлениях можно практически считать как идеальные газы.

Уравнение состояния как для идеальных, как и для реальных газов описываются тремя параметрами по уравнению (1.7).

Уравнение состояния идеального газа можно вывести из молекулярно-кинетической теории или из совместного рассмотрения законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака.

Это уравнение было выведено в 1834 г. французским физиком Клапейроном и для 1 кг массы газа имеет вид:

$$P \cdot \nu = R \cdot T, \quad (2.10)$$

где:  $R$  - газовая постоянная и представляет работу 1 кг газа в процессе при постоянном давлении и при изменении температуры на 1 градус.

Уравнение (2.7) называют термическим уравнением состояния или характеристическим уравнением.

Для произвольного количества газа массой  $m$  уравнение состояния будет:

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T. \quad (2.11)$$

В 1874 г. Д.И.Менделеев основываясь на законе Дальтона ("В равных объемах разных идеальных газов, находящихся при одинаковых температурах и давлениях, содержится одинаковое количество молекул") предложил универсальное уравнение состояния для 1 кг газа, которую называют *уравнением Клапейрона-Менделеева*:

$$P \cdot v = R_{\mu} \cdot T / \mu, \quad (2.12)$$

где:  $\mu$  - молярная (молекулярная) масса газа, (кг/кмоль);

$R_{\mu} = 8314,20$  Дж/кмоль (8,3142 кДж/кмоль) - *универсальная газовая постоянная* и представляет работу 1 кмоль идеального газа в процессе при постоянном давлении и при изменении температуры на 1 градус.

Зная  $R_{\mu}$  можно найти газовую постоянную  $R = R_{\mu} / \mu$ .

Для произвольной массы газа уравнение Клапейрона-Менделеева будет иметь вид:

$$P \cdot V = m \cdot R_{\mu} \cdot T / \mu. \quad (2.13)$$

### Смесь идеальных газов.

*Газовой смесью* понимается смесь отдельных газов, вступающих между собой ни в какие химические реакции. Каждый газ (компонент) в смеси независимо от других газов полностью сохраняет все свои свойства и ведет себя так, как если бы он один занимал весь объем смеси.

*Парциальное давление* – это давление, которое имел бы каждый газ, входящий в состав смеси, если бы этот газ находился один в том же количестве, в том же объеме и при той же температуре, что и в смеси.

Газовая смесь подчиняется *закону Дальтона*:

|| *Общее давление смеси газов равно сумме парциальных давлений* || *отдельных газов, составляющих смесь.*

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = \sum P_i, \quad (2.14)$$

где  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  – парциальные давления.

Состав смеси задается объемными, массовыми и мольными долями, которые определяются соответственно по следующим формулам:

$$r_1 = V_1 / V_{см}; r_2 = V_2 / V_{см}; \dots r_n = V_n / V_{см}, \quad (2.15)$$

$$g_1 = m_1 / m_{см}; g_2 = m_2 / m_{см}; \dots g_n = m_n / m_{см}, \quad (2.16)$$

$$r_1 = v_1 / v_{см}; r_2 = v_2 / v_{см}; \dots r_n = v_n / v_{см}, \quad (2.17)$$

где  $V_1; V_2; \dots V_n; V_{см}$  – объемы компонентов и смеси;

$m_1; m_2; \dots m_n; m_{см}$  – массы компонентов и смеси;

$v_1; v_2; \dots v_n; v_{см}$  – количество вещества (киломолей)

компонентов и смеси.

Для идеального газа по закону Дальтона:

$$r_1 = r_1'; r_2 = r_2'; \dots r_n = r_n'. \quad (2.18)$$

Так как  $V_1 + V_2 + \dots + V_n = V_{см}$  и  $m_1 + m_2 + \dots + m_n = m_{см}$ ,

$$\text{то } r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1, \quad (2.19)$$

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1. \quad (2.20)$$

Связь между объемными и массовыми долями следующее:

$$g_1 = r_1 \cdot \mu_1 / \mu_{см}; g_2 = r_2 \cdot \mu_2 / \mu_{см}; \dots g_n = r_n \cdot \mu_n / \mu_{см}, \quad (2.21)$$

где:  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n, \mu_{см}$  – молекулярные массы компонентов и смеси.

Молекулярная масса смеси:

$$\mu_{см} = \mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n. \quad (2.22)$$

Газовая постоянная смеси:

$$\begin{aligned} R_{см} &= g_1 R_1 + g_2 R_2 + \dots + g_n R_n = \\ &= R_{\mu} (g_1 / \mu_1 + g_2 / \mu_2 + \dots + g_n / \mu_n) = \\ &= 1 / (r_1 / R_1 + r_2 / R_2 + \dots + r_n / R_n). \end{aligned} \quad (2.23)$$

Удельные массовые теплоемкости смеси:

$$c_{p см} = g_1 c_{p 1} + g_2 c_{p 2} + \dots + g_n c_{p n}. \quad (2.24)$$

$$c_{v см} = g_1 c_{v 1} + g_2 c_{v 2} + \dots + g_n c_{v n}. \quad (2.25)$$

Удельные молярные (молекулярные) теплоемкости смеси:

$$c_{pm см.} = r_1 c_{pm 1} + r_2 c_{pm 2} + \dots + r_n c_{pm n} \quad (2.26)$$

$$c_{vm см.} = r_1 c_{vm 1} + r_2 c_{vm 2} + \dots + r_n c_{vm n} \quad (2.27)$$

## Раздел 1. Основы термодинамики

### Тема 1.4. Термодинамические процессы

#### Метод исследования т/д процессов.

Как сказано выше первый закон т/д устанавливает взаимосвязь между количеством теплоты, внутренней энергией и работой. При этом, количество теплоты подводимое к телу или отводимое от тела зависит от характера процесса.

К основным т/д процессам относятся: изохорный, изотермический, изобарный и адиабатный.

Для всех этих процессов устанавливается общий метод исследования, который заключается в следующем:

- выводится уравнение процесса кривой  $Pv$  и  $TS$  – диаграммах;
- устанавливается зависимость между основными параметрами рабочего тела в начале и конце процесса;
- определяется изменение внутренней энергии по формуле, справедливой для всех процессов идеального газа:

$$\Delta u = c_{vm|0} t_2 - c_{vm|0} t_1 \quad (4.1)$$

или при постоянной теплоемкости  $\Delta U = m \cdot c_v \cdot (t_2 - t_1)$ ; (4.2)

вычисляется работа:  $L = P \cdot (V_2 - V_1)$ ; (4.3)

определяется количество теплоты, участвующее в процессе:

$$q = c_x \cdot (t_2 - t_1); \quad (4.4)$$

определяется изменение энтальпии по формуле, справедливой для всех процессов идеального газа:

$$\Delta i = (i_2 - i_1) = c_{pm|0} t_2 - c_{pm|0} t_1, \quad (4.5)$$

или при постоянной теплоемкости:  $\Delta i = c_p \cdot (t_2 - t_1)$ ; (4.6)

определяется изменение энтропии:

$$\Delta s = c_v \cdot \ln(T_2/T_1) + R \cdot \ln(v_2/v_1); \quad (4.7)$$

$$\Delta s = c_p \cdot \ln(T_2/T_1) - R \cdot \ln(P_2/P_1); \quad (4.8)$$

$$\Delta s = c_v \cdot \ln(T_2/T_1) + c_p \cdot \ln(v_2/v_1) \quad (4.9)$$

Все процессы рассматриваются как обратимые.

#### Изопроцессы идеального газа.

1). Изохорный процесс (Рис.4.1).

$$v = \text{Const}, v_2 = v_1 \quad (4.10)$$

Уравнение состояния процесса:

$$P_2 / P_1 = T_2 / T_1 \quad (4.11)$$

Так как  $v_2 = v_1$ , то  $l = 0$  и уравнение 1-го закона т/д имеет вид:

$$q = \Delta u = c_v \cdot (t_2 - t_1); \quad (4.12)$$

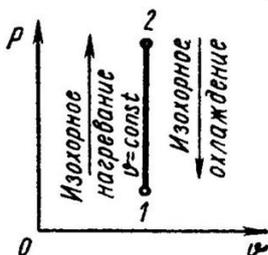


Рис. 4.1. Изохорный процесс

2). Изобарный процесс (Рис.4.2).

$$P = \text{Const}, P_2 = P_1$$

Уравнение состояния процесса:

$$v_2 / v_1 = T_2 / T_1, (4.13)$$

Работа этого процесса:

$$l = P \cdot (v_2 - v_1). (4.14)$$

Уравнение 1-го закона т/д имеет вид:

$$q = \Delta u + l = c_p \cdot (t_2 - t_1); (4.15)$$

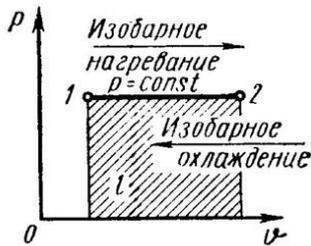


Рис. 4.2. Изобарный процесс идеального газа

3). Изотермический процесс (Рис.4.3).

$$T = \text{Const}, T_2 = T_1$$

Уравнение состояния:

$$P_1 / P_2 = v_2 / v_1, (4.16)$$

Так как  $T_2 = T_1$ , то  $\Delta u = 0$  и уравнение 1-го закона т/д будет иметь вид:

$$q = l = R \cdot T \cdot \ln(v_2 / v_1), (4.17)$$

или  $q = l = R \cdot T \cdot \ln(P_1 / P_2)$ , (4.18)

где  $R = R_{\eta} / \eta$  – газовая постоянная [Дж/(кг·К)].

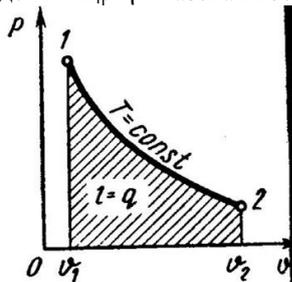


Рис. 4.3. Изотермический процесс идеального газа

4). Адиабатный процесс (Рис.4.4).

В данном процессе не подводится и не отводится тепло, т.е.  $q = 0$ .

Уравнение состояния:

$$P \cdot v^{\lambda} = \text{Const}, (4.19)$$

где  $\lambda = c_p / c_v$  – показатель адиабаты.

Уравнение 1-го закона т/д будет иметь вид:

$$l = -\Delta u = -c_v \cdot (t_2 - t_1) = c_v \cdot (t_1 - t_2), (4.20)$$

или

$$l = R \cdot (T_1 - T_2) / (\lambda - 1); (4.21)$$

$$l = R \cdot T_1 \cdot [1 - (v_1 / v_2)^{\lambda-1}] / (\lambda - 1); (4.22)$$

$$l = R \cdot T_2 \cdot [1 - (P_2 / P_1)^{(\lambda-1)/\lambda}] / (\lambda - 1). (4.23)$$

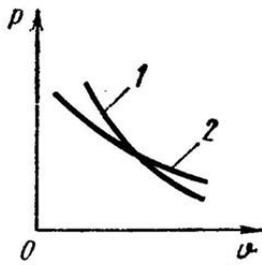


Рис. 4.4. Взаимное расположение адиабаты и изотермы идеального газа в  $p$ - $v$ -диаграмме

### Политропный процесс.

Политропным процессом называется процесс, все состояния которого удовлетворяются условию:

$$P \cdot v^n = \text{Const}, \quad (4.24)$$

где  $n$  – показатель политропы, постоянная для данного процесса.

Изобарный, изохорный, изотермический и адиабатный процессы являются частными случаями политропного процесса (Рис.4.5):

при  $n = \pm \infty$   $v = \text{Const}$ , (изохорный),

$n = 0$   $P = \text{Const}$ , (изобарный),

$n = 1$   $T = \text{Const}$ , (изотермический),

$n = \lambda$   $P \cdot v = \text{Const}$ , (адиабатный).

Работа политропного процесса определяется аналогично как при адиабатном процессе:

$$l = R \cdot (T_1 - T_2) / (n - 1); \quad (4.25)$$

$$l = R \cdot T_1 \cdot [1 - (v_1/v_2)^{n-1}] / (n - 1); \quad (4.26)$$

$$l = R \cdot T_2 \cdot [1 - (P_2/P_1)^{(n-1)/n}] / (n - 1). \quad (4.27)$$

Теплота процесса:

$$q = c_n \cdot (T_2 - T_1), \quad (4.28)$$

где  $c_n = c_v \cdot (n - \lambda) / (n - 1)$  – массовая теплоемкость (4.29) политропного процесса.

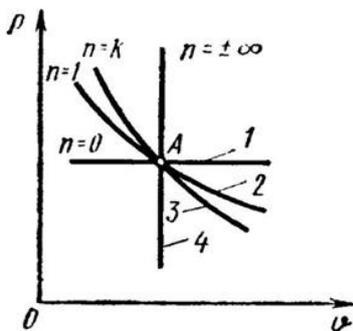


Рис. 4.5. Политропные процессы идеального газа:

1 – изобара, 2 – изотерма, 3 – адиабата, 4 – изохора

## Раздел 2. Техническая термодинамика

### Тема 2.1. Термодинамические циклы ДВС

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания подразделяют на три группы:

- с подводом теплоты при постоянном объеме (карбюраторные ДВС);
- с подводом теплоты при постоянном давлении (компрессорные дизели);
- со смещанным подводом теплоты при постоянном объеме (безкомпрессорные дизели);

Основными характеристиками или параметрами любого цикла теплового двигателя являются следующие безразмерные величины:

степень сжатия (отношение удельных объемов рабочего тела в начале и конце сжатия)

$$\varepsilon = v_1 / v_2, \quad (7.5)$$

степень повышения давления (отношение давлений в конце и в начале изохорного процесса подвода теплоты)

$$\lambda = P_3 / P_2, \quad (7.6)$$

степень предварительного расширения или степень изобарного расширения (отношение удельных объемов в конце и в начале изохорного процесса подвода теплоты)

$$\rho = v_3 / v_2. \quad (7.7)$$

1). Рассмотрим цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме на примере четырехтактного двигателя.

Диаграмма реального двигателя представлена на рис.7.3.

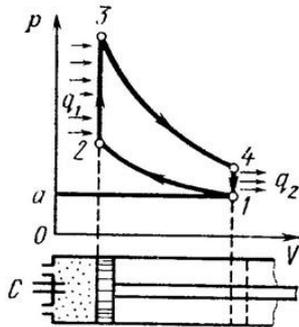


Рис. 7.3. Цикл двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме

а-1 (1 такт) – в цилиндр через всасывающий клапан поступает смесь воздуха и паров горючего (нетермодинамический процесс);

1-2 (2 такт) – адиабатное сжатие (повышается температура);

2-3 – сгорание горючей смеси, давление быстро возрастает при постоянном объеме (подвод теплоты  $q_1$ );

3-4 (3 такт) – адиабатное расширение (рабочий процесс, совершается полезная работа);

4-а – открывается выхлопной клапан и отработанные газы покидают цилиндр давление цилиндра падает (отводится тепло  $q_2$ ).

1-а (4 такт) – выталкивание оставшихся в цилиндре газов.

Затем процесс повторяется.

Описанный процесс является необратимым (наличие трения, химической реакции в рабочем теле, конечные скорости поршня, теплообмен при конечной разности температур и т.п.).

Для анализа теории тепловых машин термодинамика рассматривает идеальные циклы обратимые циклы. Диаграмма идеального процесса двигателя внутреннего сгорания показана на рис.7.4.

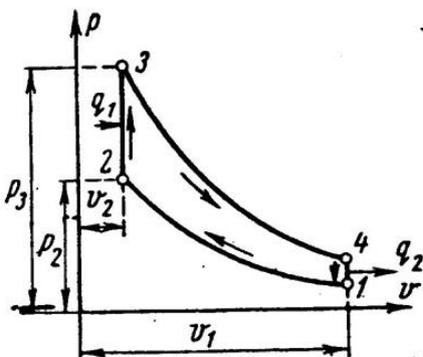


Рис. 7.4.

Из этой диаграммы выводится формула для термического к.п.д. цикла с подводом теплоты при постоянном объеме, который имеет следующий вид:

$$\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^\gamma, \quad (7.8)$$

где:  $\varepsilon$  – степень сжатия (основной показатель работы двигателя, чем выше  $\varepsilon$ , тем выше экономичность ДВС);

$\gamma$  – показатель адиабаты.

2). Идеальный цикл ДВС со смешанным подводом теплоты при постоянном объеме (безкомпрессорные дизели). Диаграмма цикла показана на рис.7.5.

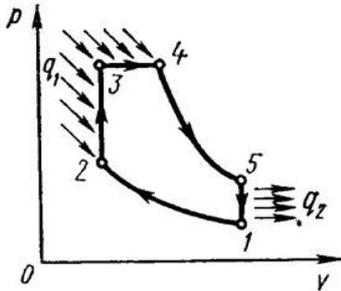


Рис. 7.5. Цикл двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты

1-2 - чистый воздух с температурой  $T_1$  сжимается до температуры  $T_2$ , которая больше температуры воспламенения топлива. В этот момент в цилиндр через форсунки под давлением впрыскивается топливо.

2-3 – горючая смесь самовоспламеняется и к рабочему телу подводится тепло  $q_1'$ , давление повышается до  $P_3$ .

3-4 – поршень перемещается обратно, поступление и сгорание топлива продолжается при постоянном давлении и подводится тепло  $q_1''$ .

4-5 – поршень продолжает перемещаться в нижнюю мертвую точку, давление падает (адиабатное расширение);

5-1 – процесс отвода теплоты  $q_2$  при постоянном объеме (через выпускной клапан покидают отработанные газы).

Термический к.п.д. цикла определяется по формуле:

$$\eta_t = \lambda - (\lambda \cdot \rho^\gamma - 1) / \varepsilon^{\gamma-1} \cdot [(\lambda - 1) + \gamma \cdot \lambda \cdot (\rho - 1)] \quad (7.9)$$

Цикл двигателей с подводом теплоты при постоянном давлении широкое применение не нашли, так как у этих циклов очень большой коэффициент сжатия.

### Раздел 3. Основы теории теплообмена

#### Тема 3.1. Основные сведения теории теплообмена. Теплопроводность

Теория теплообмена изучает процессы распространения теплоты в твердых, жидких и газообразных телах. Перенос теплоты может передаваться тремя способами:

- теплопроводностью;
- конвекцией;
- излучением (радиацией).

Процесс передачи теплоты теплопроводностью происходит при непосредственном контакте тел или частицами тел с различными температурами и представляет собой молекулярный процесс передачи теплоты. При нагревании тела, кинетическая энергия его молекул возрастает и частицы более нагретой части тела, сталкиваясь с соседними молекулами, сообщают им часть своей кинетической энергии.

Конвекция – это перенос теплоты при перемещении и перемешивании всей массы неравномерно нагретых жидкости или газа. При этом, перенос теплоты зависит от скорости движе-

ния жидкости или газа прямо пропорционально. Этот вид передачи теплоты сопровождается всегда теплопроводностью. Одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью называется конвективным теплообменом.

В инженерных расчетах часто определяют конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела. Этот процесс конвективного теплообмена называют конвективной теплоотдачей или просто теплоотдачей.

Процесс передачи теплоты внутренней энергии тела в виде электромагнитных волн называется излучением (радиацией). Этот процесс происходит в три стадии: превращение части внутренней энергии одного из тел в энергию электромагнитных волн, распространение э/м волн в пространстве, поглощение энергии излучения другим телом. Совместный теплообмен излучением и теплопроводностью называют радиационно-кондуктивным теплообменом.

Совокупность всех трех видов теплообмена называется сложным теплообменом.

Процессы теплообмена могут происходить в различных средах: чистых веществах и разных смесях, при изменении и без изменения агрегатного состояния рабочих сред и т.д. В зависимости от этого теплообмен протекает по разному и описывается различными уравнениями.

Процесс переноса теплоты может сопровождаться переносом вещества (массообмен).

Например испарение воды в воздух, движение жидкостей или газов в трубопроводах и т.п. и т.д. Тогда процесс теплообмена усложняется, так как теплота дополнительно переносится с массой движущегося вещества.

Будем рассматривать только однородные и изотропные тела, т.е. такие тела, которые обладают одинаковыми физическими свойствами по всем направлениям. При передаче теплоты в твердом теле, температура тела будет изменяться по всему объему тела и во времени. Совокупность значений температуры в данный момент времени для всех точек изучаемого пространства называется температурным полем:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (9.1)$$

где:  $t$  – температура тела;

$x, y, z$  – координаты точки;

$\tau$  – время.

Такое температурное поле называется нестационарным  $\partial t / \partial \tau \neq 0$ , т.е. соответствует неустановившемуся тепловому режиму теплопроводности

Если температура тела функция только координат и не изменяется с течением времени, то температурное поле называется стационарным:

$$t = f(x, y, z), \quad \partial t / \partial \tau = 0 \quad (9.2)$$

Уравнение двухмерного температурного поля:

для нестационарного режима:

$$t = f(x, y, \tau); \quad \partial t / \partial z = 0 \quad (9.3)$$

для стационарного режима:

$$t = f(x, y), \quad \partial t / \partial z = 0; \quad \partial t / \partial \tau = 0 \quad (9.4)$$

Уравнение одномерного температурного поля:

для нестационарного режима:

$$t = f(x, \tau); \quad \partial t / \partial y = \partial t / \partial z = 0; \quad \partial t / \partial \tau \neq 0 \quad (9.5)$$

для стационарного режима:

$$t = f(x); \quad \partial t / \partial y = \partial t / \partial z = 0; \quad \partial t / \partial \tau = 0 \quad (9.6)$$

Изотермической поверхностью называется поверхность тела с одинаковыми температурой.

Рассмотрим две изотермические поверхности (Рис.9.1) с температурами  $t$  и  $t + \Delta t$ . Градиентом температуры называют предел отношения изменения температуры  $\Delta t$  к расстоянию между изотермами по нормали  $\Delta n$ , когда стремится к нулю:

$$\text{grad}t = |\mathbf{grad}t| = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} [\Delta t / \Delta n]_{\Delta n \rightarrow 0} = \partial t / \partial n \quad (9.7)$$

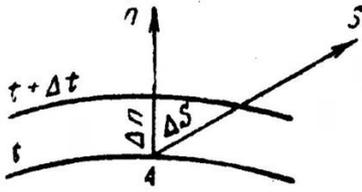


Рис. 9.1.

Температурный градиент-это вектор, направленной по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры и численно равный производной температуры  $t$  по нормали:

$$\mathbf{grad}t = \partial t / \partial n \mathbf{n}_0, \quad (9.7^*)$$

где:  $\mathbf{n}_0$  – единичный вектор.

Количество теплоты, проходящее через изотермическую поверхность  $F$  в единицу времени называется тепловым потоком –  $Q$ , [Вт=Дж/с].

Тепловой поток, проходящий через единицу площади называют плотностью теплового потока –  $q = Q / F$ , [Вт/м<sup>2</sup>]

Для твердого тела уравнение теплопроводности подчиняется закону Фурье:

||Тепловой поток, передаваемая теплопроводностью,||пропорциональна градиенту температуры и площади сечения,||перпендикулярного направлению теплового потока.

$$Q = -\lambda \cdot F \cdot \partial t / \partial n, \quad (9.8)$$

или

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \partial t / \partial n \cdot \mathbf{n}_0 = -\lambda \cdot \mathbf{grad}t, \quad (9.9)$$

где:  $\mathbf{q}$  – вектор плотности теплового потока;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, [Вт/(м·К)].

Численное значение вектора плотности теплового потока равна:

$$q = -\lambda \cdot \partial t / \partial n = -\lambda \cdot |\mathbf{grad}t|, \quad (9.10)$$

где:  $|\mathbf{grad}t|$  – модуль вектора градиента температуры.

Коэффициент теплопроводности является физическим параметром вещества, характеризующим способность тела проводит теплоту, Она зависит от рода вещества, давления и температуры. Также на её величину влияет влажность вещества. Для большинства веществ коэффициент теплопроводности определяются опытным путем и для технических расчетов берут из справочной литературы.

Дифференциальное уравнение теплопроводности для трехмерного нестационарного температурного поля имеет следующий вид:

(9.11)

где:  $a = \lambda / (\rho \cdot c)$  – коэффициент температуропроводности [м<sup>2</sup>/с], характеризует скорость изменения температуры.

Для стационарной задачи, дифференциальное уравнение имеет вид:

(9.12)

### Стационарная теплопроводность через плоскую стенку.

1). Однородная плоская стенка (Рис.9.2).

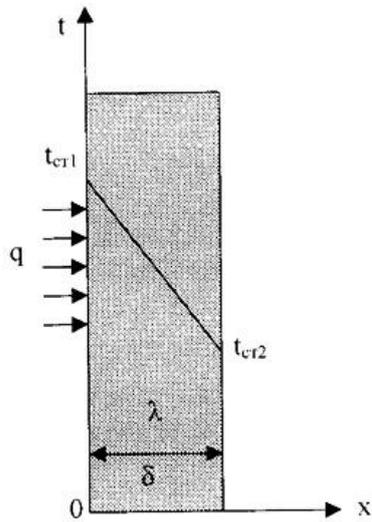


Рис.9.2. Однородная плоская стенка.

Температуры поверхностей стенки  $t_{ct1}$  и  $t_{ct2}$ .

Плотность теплового потока:

$$q = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} = -\lambda \cdot (t_{ct2} - t_{ct1}) / (x_{ct2} - x_{ct1}) \cdot$$

ИЛИ

$$q = \lambda \cdot (t_{ct2} - t_{ct1}) / (x_{ct2} - x_{ct1}) \cdot \Delta t / \Delta x \quad (9.13)$$



температурный напор;



толщина стенки.

Тогда

$$q = \lambda / \delta \cdot (t_{ct1} - t_{ct2}) = \lambda / \delta \cdot \Delta t, \quad (9.14)$$

Если  $R = \delta / \lambda$  - термическое сопротивление теплопроводности стенки  $[(m^2 \cdot K) / W]$ , то плотность теплового потока:

$$q = (t_{ct1} - t_{ct2}) / R. \quad (9.15)$$

Общее количество теплоты, которое передается через поверхность  $F$  за время  $\tau$  определяется:

$$Q = q \cdot F \cdot \tau = (t_{ct1} - t_{ct2}) / R \cdot F \cdot \tau. \quad (9.16)$$

Температура тела в точке с координатой  $x$  находится по формуле:

$$t_x = t_{ct1} - (t_{ct1} - t_{ct2}) \cdot x / \delta. \quad (9.17)$$

## 2). Многослойная плоская стенка.

Рассмотрим 3-х слойную стенку (Рис.9.3). Температура наружных поверхностей стенок  $t_{ct1}$  и  $t_{ct2}$ , коэффициенты теплопроводности слоев  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , толщина слоев  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ .

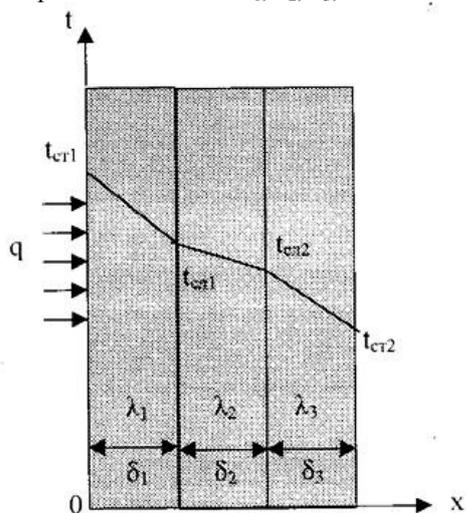


Рис.9.3. Многослойная плоская стенка.

Плотности тепловых потоков через каждый слой стенки:

$$q = \lambda_1/\delta_1 \cdot (t_{ct1} - t_{cl1}), \quad (9.18)$$

$$q = \lambda_2/\delta_2 \cdot (t_{cl1} - t_{cl2}), \quad (9.19)$$

$$q = \lambda_3/\delta_3 \cdot (t_{cl2} - t_{ct2}), \quad (9.20)$$

Решая эти уравнения, относительно разности температур и складывая, получаем:

$$q = (t_1 - t_4)/(\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3) = (t_{ct1} - t_{ct4})/R_o, \quad (9.21)$$

где:  $R_o = (\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3)$  – общее термическое сопротивление теплопроводности многослойной стенки.

Температура слоев определяется по следующим формулам:

$$t_{cl1} = t_{ct1} - q \cdot (\delta_1/\lambda_1). \quad (9.22)$$

$$t_{cl2} = t_{cl1} - q \cdot \delta_2/\lambda_2. \quad (9.23)$$

### 4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрены.

### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объ- ем (час.)</i>	<i>Вид занятия в ин- терактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	<b>2.</b>	Исследование цикла Отто	2	Проектная дея- тельность (2 час.)
2	<b>3.</b>	Теплопроводность многослойной стенки	2	-
3	<b>3.</b>	Теплообменник «Труба в трубе»	2	-
<b>ИТОГО</b>			<b>6</b>	<b>2</b>

### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрены.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>Компетенции</i> <i>№, наименование</i> <i>разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во</i> <i>часов</i>	<i>Компетенции</i>		$\Sigma$ <i>комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид</i> <i>учебной</i> <i>работы</i>	<i>Оценка</i> <i>результатов</i>
		<i>ПК-12</i>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>1.</b> Основы термодинамики	22	11	11	2	11	Лк, СРС	Зачет
<b>2.</b> Техническая термодинамика	19	9,5	9,5	2	9,5	Лекции, ПЗ, СРС	Зачет
<b>3.</b> Основы теории теплообмена	27	13,5	13,5	2	13,5	Лекции, ПЗ, СРС	Зачет
<i>всего часов</i>	<b>68</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>1</b>	<b>34</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Теплотехника: Лабораторный практикум / С.Л. Витковский. -- Братск: ГОУ ВПО «БГУ», 2007. – 74 с.
2. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче / Под ред. В.И. Крутова, Е.В. Шишова.- М.: Высш. шк. 1988.- 216 с.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Круглов, Г.А. Теплотехника. [Электронный ресурс] / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова.–Электрон. дан.–СПб.: Лань, 2012.–208 с.– Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/3900">http://e.lanbook.com/book/3900</a>	Лк, ПЗ,СР	ЭР	1
<b>Дополнительная литература</b>				
2.	Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача.-М.:Высш. шк.1980.-469 с.	Лк, ПЗ,СР	152	1
3.	Теплотехника : учебник для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др. - 5-е изд., стереотип.- Москва: Высшая школа, 2006.- 671 с.	Лк, ПЗ,СР	15	0,8
4.	Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие.- М.: Энергоатомиздат. 1990.- 365 с.	Лк, ПЗ,СР	16	1
5.	Панкратов Г.П. Сборник задач по теплотехнике.- М.: Высш. шк. 1986.- 247 с.	Лк, ПЗ,СР	83	1
6.	Стандарт Системы менеджмента кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВПО «БрГУ». СТ АТ 2.301-2006. Оформление текстовых учебных документов / Сост. В.Н. Тарасюк.-2006.	Лк, ПЗ,СР	105	1

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

- 1.Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ  
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»  
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .

7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)  
<https://uisrussia.msu.ru/> .

8. Национальная электронная библиотека НЭБ  
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Практическое владение материалом дисциплины предполагает наличие сформированных знаний по законам термодинамики и теплообмену, а также умений и навыков работы с рабочими диаграммами процессов и выполнения тепловых расчётов.

Для того чтобы достигнуть указанного в целевой установке уровня владения материалом дисциплины, следует систематически готовиться к занятиям, выполнять в полном объеме все задания практических занятий и закреплять полученные умения, повторяя пройденный на занятиях материал во время самостоятельной подготовки.

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических занятий

#### Практическое занятие №1. Исследование цикла Отто

Занятие проводится в интерактивной форме «Проектная деятельность». Пункты 1, 2 задания направлены на построение цикла Отто и определение параметров в узловых точках. Пункт 3 даёт возможность оценить потери тепла при замене абиабаты на близкую ей политропу при построении индикаторной диаграммы. Пункт 4 делает наглядным влияние степени сжатия на КПД двигателя.

**Цель работы** – изучение термодинамического цикла теплового двигателя с подводом тепла при постоянном объёме. Цикл Отто лежит в основе работы современного двигателя с принудительным зажиганием (карбюраторного, инжекторного).

**Задание:** Для своих исходных данных:

1. Построить цикл Отто и политропы 1-5 и 3-6. Кривые строить по 6-8 точкам, равномерно расположенным вдоль кривой для выявления её истинной формы;

2. Определить **температуры** рабочего тела в точках 2, 3, 4, 5, 6. Проверить правильность выражения (7). Рассчитать коэффициент полезного действия для рассматриваемого цикла Отто;

3. Определить **потери тепла**  $\Delta Q_c$  и  $\Delta Q_p$  в процентах от подведенного за цикл тепла  $Q_1$ , если реализуются политропы 1-5 и 3-6. Сделать **вывод** о правомерности считать процессы сжатия и расширения адиабатными при рассмотрении теоретических циклов;

4. Построить график **зависимости КПД** цикла Отто от степени сжатия при её изменении в пределах от 1 до 20. Поместить на график значение КПД, рассчитанное в пункте 2. Сделайте **вывод** о причине повышения КПД при разработке новых моделей двигателей автомобилей.

**Порядок выполнения:** принимаем, что **рабочим телом** является воздух, имеющий следующие параметры:

$\rho = 1,21 \text{ кг/м}^3$  – плотность (при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ );

$R = 287 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$  – газовая постоянная;

$k = 1,4$  – показатель адиабаты;

$c_p = 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$  – удельная массовая изобарная теплоемкость ( $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ );

$P_0 = 730 \text{ мм рт. ст.}$  – атмосферное давление;

$T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура воздуха.

Показатель политропы для средней частоты вращения коленчатого вала 2000 об/мин карбюраторного двигателя можно принять равным  $n = 1,35$ .

Расчеты провести для **своего варианта**, соответствующего предпоследней и последней цифре номера зачетной книжке студента в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Предпоследняя цифра номера	$\lambda$	Последняя цифра номера	$V_1$ , л	$\epsilon$
1	2,6	1	0,3	7,5
2	2,8	2	0,4	8
3	3	3	0,5	8,5
4	3,2	4	0,6	9
5	3,4	5	0,7	9,5
6	3,6	6	0,8	10
7	3,8	7	0,9	10,5
8	4	8	1	11
9	4,2	9	1,1	11,5
0	4,4	0	1,2	12

Форма отчетности: отчёт по практическому занятию выполнить в виде главы отчёта, представляемого для получения зачёта [7].

Задания для самостоятельной работы:

1. Освоить теоретический материал лекций;
2. Изучить материал дисциплины по учебникам основной литературы [1,2].

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию использовать учебно-методическое обеспечение [1,2] и дополнительную литературу [5,6].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем состоит цель работы? Чем отличаются теоретические циклы от действительных?
2. Какое современное техническое устройство описывает цикл Отто? Почему?
3. Какие допущения используют при рассмотрении теоретических циклов?
4. Из каких термодинамических процессов состоит цикл Отто? Какие параметры количественно определяют эти процессы?

**Практическое занятие №2.** Теплопроводность многослойной стенки

Цель работы – исследование процесса передачи тепла теплопроводностью через **плоскую** стенку в **стационарных** условиях.

Порядок выполнения:

1. Выбрать программу "Теплопроводность" и запустить на исполнение (поместить на пиктограмму программы курсор мыши и дважды щелкнуть левой клавишей мыши). На экране компьютера появится окно программы;
2. Выбрать нужную лабораторную установку, для этого необходимо поместить курсор мыши на закладку "Плоская стенка" или "Цилиндрическая стенка" и щелкнуть левой клавишей;
3. Задать площадь поверхности плоской стенки или высоту цилиндрической стенки и наружный диаметр нагревательного элемента.
4. Задать толщину и материал слоев стенки.
5. Установить напряжение нагревателя.

Таблица 4

### Результаты измерений

	Номер опыта			
	1	2	3	4
Площадь поверхности стенки $F$ , м <sup>2</sup>				
Высота цилиндрической стенки $L$ , м				
Диаметр нагревательного Элемента $d$ , м				

Толщина слоя стенки $\delta$ , мм	1				
	2				
	3				
Материал слоя стенки	1				
	2				
	3				
Сопротивление нагревателя $R_H$ , Ом					
Напряжение нагревателя $U$ , В					
Температура на поверхности стенки, °С	$t_{w1}$				
	$t_{w2}$				
Температура между слоями стенки, °С	$t_1$				
	$t_2$				
Глубина установки термопар в слое, $\delta$ , мм	$\delta_1$				
	$\delta_2$				
	$\delta_3$				
	$\delta_4$				
Температура по толщине слоя, °С	$t_{\delta 1}$				
	$t_{\delta 2}$				
	$t_{\delta 3}$				
	$t_{\delta 4}$				

6. Произвести измерение температур в различных точках стенки в стационарном режиме.

7. Повторить пункты 5-8 до выполнения задачи исследования.

Данные измерений занести в таблицу 4 «Результаты измерений».

Для обработки результатов:

1) Рассчитать тепловой поток через стенку:

плоская стенка:

$$q = \frac{U^2}{R_H F}, \text{ Вт/м}^2;$$

цилиндрическая стенка

$$q_L = \frac{U^2}{R_H L}, \text{ Вт/м};$$

где  $U$  – напряжение тока в цепи нагревателя, В;

$R_H$  – сопротивление нагревателя, ом;

$F$  – площадь поверхности плоской стенки, м<sup>2</sup>;

$L$  – высота цилиндрической стенки, м.

2) По справочникам определить значение коэффициентов теплопроводности материалов стенки.

3) Рассчитать тепловую проводимость или термическое сопротивление стенки по формулам:

для **плоской стенки** тепловая проводимость равна

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

термическое сопротивление:

$$R = \frac{1}{k} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт};$$

Результаты расчётов

	Номер опыта			
	1	2	3	4
Тепловой поток через плоскую стенку $q$ , Вт/м <sup>2</sup>				
Тепловой поток через Цилиндр-кую ст. $q_L$ , Вт/м				
Коэффициент теплопроводности слоя стенки, Вт/(м·К)	$\lambda_1$			
	$\lambda_2$			
	$\lambda_3$			
Тепловая проводимость плоской ст-ки $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)				
Термическое сопр-ние плоской ст-ки $R$ , (м <sup>2</sup> ·К)/Вт				
Тепловая проводимость Цилиндр. стенки $k_L$ , Вт/(м				
Термическое сопротив-е цилиндр. ст-и $R_L$ , (м·К)/Вт				
Температура наружной поверхности ст. $t_{w2p}$ , °С				
Температура между слоями стенки, °С	$t_{1p}$			
	$t_{2p}$			
Температура внутри слоя стенки, °С	$t_{\delta 1}$			
	$t_{\delta 2}$			
	$t_{\delta 3}$			
	$t_{\delta 4}$			

$$k_L = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}, \text{ Вт/(м·К);}$$

линейное термическое сопротивление:

$$R_L = \frac{1}{k_L} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}, \text{ (м·К)/Вт;}$$

4) По формулам (4) или (8) рассчитать температуры наружной поверхности стенки  $t_{w2p}$ , между слоями стенки  $t_{1p}, t_{2p}, t_{3p}$ , внутри одного из слоев  $t_{\delta 1} - t_{\delta 4}$ .

Данные расчетов занести в таблицу 5 «Результаты расчётов». Строки 3, 10 и 11 заполняются при проведении лабораторной работы на цилиндрической стенке, 2, 8 и 9 - на плоской стенке. Строки 8 и 10 заполняются при исследовании влияния различных факторов на тепловую проводимость стенки, 9 и 11 - на термическое сопротивление стенки.

По результатам расчетов построить графики зависимостей согласно задаче исследования.

Выполнить анализ результатов исследования. Для обработки результатов:

1. На основании проведенных исследований произвести расчет массового расхода теплоносителя  $G$ , его средней скорости движения  $w$ , критериев  $Re$ ,  $Pr$ . Теплофизические свойства теплоносителя, материалов трубы и изоляции найти по определяющей температуре.

2. В зависимости от режима движения теплоносителя в трубе (значения критерия  $Re$ ) по уравнениям (3) – (5) рассчитать критерий  $Nu$  и коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$ . По уравнениям (6) – (9) рассчитать коэффициент теплоотдачи  $\alpha_2$ . Далее определить максимальное распола-

гаемое количество тепла на входе в трубопровод  $Q_{max}$  по уравнению (10), потери тепла в трубопроводе  $Q_R$  и  $Q_T$  по уравнениям (1) и (11) и долю потерь в процентах:

$$\Delta Q = \frac{Q_R}{Q_{max}} \cdot 100 \%$$

Если температура теплоносителя на выходе превышает температуру воздуха менее чем на один градус, то расчет  $Q_R$  по формуле (1) не выполнять, а потери тепла через стенку трубы и слой теплоизоляции  $Q_R$  принять равными максимальному располагаемому количеству тепла на входе в трубопровод  $Q_{max}$ .

3. Полученные данные занести в табл. 2 приложения, записи в которой должны соответствовать записям в табл. 1 приложения.

4. По результатам расчетов построить графики:

**Задача 1.** Зависимость линейного термического сопротивления от толщины изоляции  $R_L=f(\delta_{из})$  для различных материалов изоляции и диаметров трубопровода. Зависимость располагаемого количества тепла на выходе из трубопровода от толщины изоляции  $Q=f(\delta_{из})$ .

**Задача 2.** Зависимость линейного термического сопротивления от толщины изоляции  $R_L=f(\delta_{из})$ . Зависимость потерь тепла от длины трубопровода для различной толщины изоляции. По графику определить толщину изоляции для допустимого значения теплотерь. Построить несколько графиков для различных диаметров и материалов изоляции.

Форма отчетности: отчёт по практическому занятию выполнить в виде главы отчёта, представляемого для получения зачёта [7].

Задания для самостоятельной работы:

3. Освоить теоретический материал лекций;

4. Изучить материал дисциплины по учебникам основной литературы [1,2].

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию использовать учебно-методическое обеспечение [1,2] и дополнительную литературу [5,6].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какова цель работы? Из чего состоит лабораторная установка?

2. Что такое коэффициент теплопроводности? Сформулируйте закон теплопроводности Фурье.

3. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности. Какие задачи решает это уравнение?

4. Перечислите условия однозначности решения дифференциального уравнения теплопроводности.

5. Какие граничные условия задаются при решении задачи о теплопроводности плоских и цилиндрических стенок?

### **Практическое занятие №3.** Теплообменник «Труба в трубе»

Цель работы – исследование параметров, влияющих на **теплопередачу** в теплообменнике типа “труба в трубе”.

Задание:

1. Рассчитать массовые расходы  $G_1$  и  $G_2$ , скорости движения теплоносителей  $w_1$  и  $w_2$ , критерии  $Re_1$  и  $Re_2$  для теплоносителей во внутренней трубе и кольцевом канале. Теплофизические свойства теплоносителей и материала стенки трубы найти по справочникам при определяющей температуре.

2. По критериям  $Re$  определить режим движения теплоносителя (**ламинарный, переходный, турбулентный**) и рассчитать коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  во внутренней трубе по формулам (3) – (7) и  $\alpha_2$  в кольцевом канале по формулам (3) – (9).

3. Вычислить **расчетный** коэффициент теплопередачи  $k_p$  по формуле (2).

4. По формуле (1) рассчитать количество тепла  $Q$ , переданное через стенку трубы **от одного** теплоносителя **к другому**. Вычислить изменения количества тепла  $Q_1$  во внутренней трубе по формуле (10) и  $Q_2$  в кольцевом канале по формуле (11).

5. По данным проведенных измерений рассчитать коэффициент теплопередачи  $k_H$  (по результатам **измерений**) через цилиндрическую стенку по формуле

$$k_H = \frac{Q_1 + Q_2}{2\Delta t F}.$$

6. Найти расхождение между  $k_H$  и  $k_P$  в процентах (относительную погрешность  $k$ , полученного по результатам измерений)

$$\delta = \frac{k_H - k_P}{k_H} 100\%.$$

7. Полученные данные занести в таблицу 10, записи в которой должны соответствовать записям в таблице 9. По результатам расчетов студенты строят графики зависимостей согласно задаче исследования.

Порядок выполнения:

1. Выбрать программу “Труба в трубе” и запустить на исполнение (поместить на пиктограмму программы курсор мыши и дважды щелкнуть по левой клавише мыши). На экране компьютера появится окно программы, аналогичное рисунку 14;

2. Задать размеры труб регуляторами;

3. Выбрать материал стенки внутренней трубы и вид теплоносителей из списков;

4. Выбрать схему движения теплоносителей при помощи переключателей;

5. Задать расходы теплоносителей, температуры теплоносителей на входе во внутреннюю трубу и в кольцевом канале;

6. В таблицу результатов наблюдений записать материал и размеры труб, тип теплоносителя, схема движения потоков, показания приборов;

7. Пункты 3 – 6 повторить до выполнения задачи исследования.

Форма отчетности: отчет по практическому занятию выполнить в виде главы отчёта, представляемого для получения зачёта [7].

Задания для самостоятельной работы:

5. Освоить теоретический материал лекций;

6. Изучить материал дисциплины по учебникам основной литературы [1,2].

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию использовать учебно-методическое обеспечение [1,2] и дополнительную литературу [5,6].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какова цель работы?

2. В чём заключается методика выполнения работы?

3. Как рассчитать теплопередачу через цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода?

4. Назовите основные типы теплообменных аппаратов. Каковы достоинства и недостатки теплообменника “труба в трубе”?

5. Назовите движущую силу процесса теплопередачи? Что такое термическое сопротивление процесса теплопередачи?

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Microsoft Imagine Premium: Microsoft Windows Professional 7;  
Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;  
Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;  
Adobe Reader.

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Лк	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	
ПЗ	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	№1 ... №3
СР	Читальный зал №1	Учебная мебель; Оборудование 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb (монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-12	владением знаниями направлений полезного использования природных ресурсов, энергии и материалов при эксплуатации, ремонте и сервисном обслуживании транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования различного назначения, их агрегатов, систем	1.Основы термодинамики	1.1. Предмет теплотехники. Основные понятия и определения термодинамики.	вопросы к зачету 1.1-1.8
			1.2.Первый закон термодинамики	
			1.3.Второй закон термодинамики	
			1.4.Термодинамические процессы	
ОПК-3	готовностью применять систему фундаментальных знаний (математических, естественнонаучных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов	2.Техническая термодинамика	2.1.Термодинамические циклы ДВС	вопросы к зачету 2.1-2.5
			2.2.Термодинамический цикл ГТУ	
			2.3.Термодинамические циклы комбинированных двигателей	
			2.4.Термодинамические циклы ДВС	
		3.Основы теории теплообмена	3.1.Основные сведения теории теплообмена. Теплопроводность	вопросы к зачету 3.1-3.6
			3.2.Конвекция. Теплопередача	
			3.3.Излучение	

## 2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ПК-12	<p>владение знаниями направлений полезного использования природных ресурсов, энергии и материалов при эксплуатации, ремонте и сервисном обслуживании транспортных и транспортнотехнологических машин и оборудования различного назначения, их агрегатов, систем</p>	<p><b>1.1.</b> Предмет теплотехники. Связь с другими отраслями знаний. Основные понятия и определения термодинамики: равновесное состояние, равновесный процесс, PV-диаграмма.</p> <p><b>1.2.</b> Первый закон термодинамики: сущность, формулировка, аналитическое выражение, дифференциальная форма.</p> <p><b>1.3.</b> Второй закон термодинамики: сущность, формулировка, аналитическое выражение.</p> <p><b>1.4.</b> Цикл теплового двигателя. КПД цикла Карно. Термический КПД.</p> <p><b>1.5.</b> Изотермический процесс. Диаграммы, вид кривых, определение работы и тепла.</p> <p><b>1.6.</b> Изобарный процесс. Диаграммы, вид кривых, определение работы и тепла.</p> <p><b>1.7.</b> Адиабатный процесс. Диаграммы, вид кривых, определение работы и тепла.</p> <p><b>1.8.</b> Изохорный процесс. Диаграммы, вид кривых, определение работы и теп</p>	1. Основы термодинамики
			<p><b>2.1.</b> Термодинамический цикл Отто.</p> <p><b>2.2.</b> Термодинамический цикл Тринклера.</p> <p><b>2.3.</b> Термодинамический цикл Дизеля.</p> <p><b>2.4.</b> Термодинамический цикл ГТУ.</p> <p><b>2.5.</b> Термодинамические циклы комбинированных двигателей.</p>	
2.	ОПК-3	<p>готовностью применять систему фундаментальных знаний (математических, естественнонаучных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортнотехнологических машин и комплексов</p>	<p><b>3.1.</b> Теория теплообмена. Три вида теплообмена. Основные сведения теории теплообмена.</p> <p><b>3.2.</b> Теплопроводность. Уравнение Фурье. Теплопроводность плоской стенки.</p> <p><b>3.3.</b> Теплопроводность плоской стенки. Коэффициент термическо-</p>	3. Основы теории теплообмена

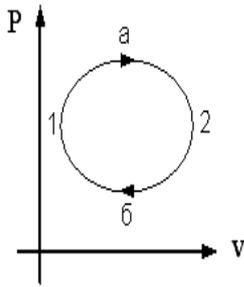
			<p>го сопротивления.</p> <p><b>3.4.</b>Конвекция. Уравнение Ньютона. Тепловой и динамический подслон.</p> <p><b>3.5.</b>Тепловое излучение. Теплопередача, интенсификация теплообмена.</p> <p><b>3.6.</b>Теплообменные аппараты.</p>	
--	--	--	--	--

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать:</b></p> <p><b>ПК-12</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные законы термодинамики и теории теплообмена;</li> <li>- способы интенсификации теплообмена;</li> <li>- принципы теплоизоляции;</li> </ul> <p><b>ОПК-3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные физические явления, фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики; современную научную аппаратуру; основные физические явления; фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <p><b>ПК-12</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать методы анализа функционирования теплотехнических устройств и аппаратов, способы экономии тепловой энергии, способы использования вторичных энергетических ресурсов;</li> </ul> <p><b>ОПК-3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах профессиональной деятельности;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <p><b>ПК-12</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчета основных термодинамических процессов, тепловых циклов двигателей внутреннего сгорания, анализа их эффективности по исходным данным.</li> </ul> <p><b>ОПК-3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами выполнения элементарных исследований в области профессиональной деятельности.</li> </ul>	<p><b>зачтено</b></p>	<p>Обучающийся демонстрирует знание базовых понятий дисциплины, термодинамических процессов.</p> <p>Умеет грамотно излагать свои мысли.</p> <p>Владеет способностью свободно изображать на диаграммах термодинамические циклы, описывать процессы, происходящие в реальном теплотехническом устройстве, решать задачи с расчетами термодинамических параметров, способен вести профессиональный диалог.</p>

#### 4. Тесты

##### ■ Задание № 1



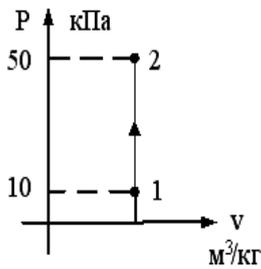
Рабочее тело (например, водяной пар) (см. рис.) совершает ...

Варианты ответа

Решение

- круговой процесс (цикл) 1 – а – 2 – б – 1
- обратимый термодинамический процесс 1 – а – 2
- обратимый термодинамический процесс 2 – б – 1
- необратимый круговой процесс

##### ■ Задание № 2



$T_1 = 100 \text{ K}$ . В точке 2 изохорного процесса, представленного на графике, температура равна \_\_\_ K.

Варианты ответа

Решение

- $T_2 = 500 \text{ K}$
- $T_2 = 100 \text{ K}$
- $T_2 = 20 \text{ K}$
- $T_2 = 500^\circ \text{C}$

##### ■ Задание № 3

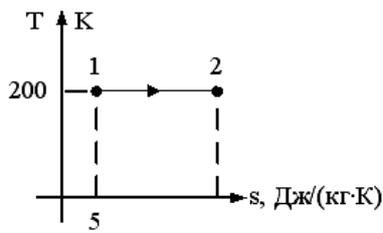
Аналитическое выражение первого закона термодинамики имеет вид ...

Варианты ответа

Решение

- $\delta Q = dU$
- $\delta Q = dU + \delta L$
- $\delta Q = \delta L$
- $\delta L = -dU$

Задание № 4



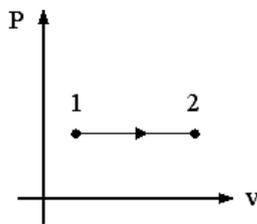
Если количество теплоты, которое подводится в изотермическом процессе 1 – 2 равно 500 Дж/кг, то энтропия в точке 2 равна ...

Варианты ответа

Решение

- 5,4
- 7,5
- 2,5
- 4,6

Задание № 5



Количество теплоты, сообщаемое газу при нагревании в процессе 1 – 2, изображенном на графике, равно ...

Варианты ответа

Решение

- 
- $q = \mu c_p \int_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1)$
- 
- $q = c_v \int_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1)$
- 
- $q = c_p \int_{t_2}^{t_1} \cdot (t_1 - t_2)$
- 
- $q = c_p \int_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1)$

Задание № 6

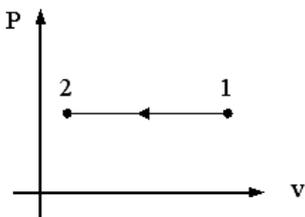
Максимально возможное влагосодержание достигается при ...

Варианты ответа

Решение

- в точке пересечения линии постоянного влагосодержания с линией  $\varphi = 60\%$
- $\varphi = 0\%$
- $\varphi = 50\%$
- $\varphi = 100\%$

I Задание № 7



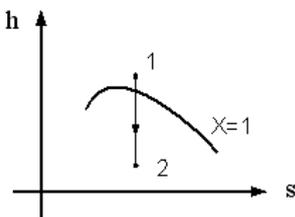
Для идеального газа изменение температуры в процессе 1 – 2, изображенном на графике, соответствует соотношению ...

Варианты ответа

Решение

- $T_2 = T_1$
- $T_2 \leq T_1$
- $T_2 > T_1$
- $T_2 < T_1$

I Задание № 8



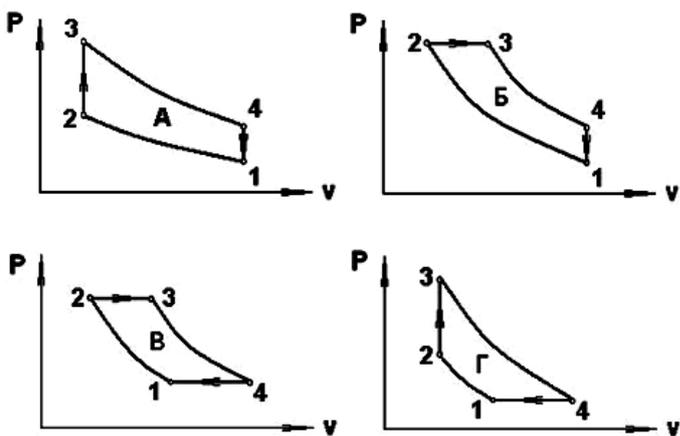
Работа расширения пара в процессе 1 – 2, изображенном на графике, вычисляется по формуле ...

Варианты ответа

Решение

- $\ell = h_1 - h_2 - (p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2)$
- $\ell = h_1 - h_2$
- $\ell = p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2$
- $\ell = 0$

I Задание № 9



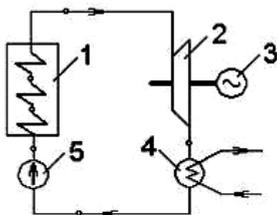
Цикл карбюраторного ДВС на представленных графиках обозначен буквой ...

Варианты ответа

Решение

- Б
- А
- В
- Г

I Задание № 10



Элементы 4 и 5 паросиловой установки, изображенной на рисунке, соответствуют ...

Варианты ответа

Решение

- 4 – паровая турбина, 5 – электрический генератор
- 4 – паровой котел, 5 – конденсатор
- 4 – конденсатор, 5 – питательный насос
- 4 – паровой котел, 5 – паровая турбина

I Задание № 11

Холодильный коэффициент обратного цикла Карно при  $t_1=127^\circ\text{C}$ ,  $t_2=27^\circ\text{C}$  равен ...

Варианты ответа

Решение

- 0,33
- 0,27
- 3,7
- 3

I Задание № 12

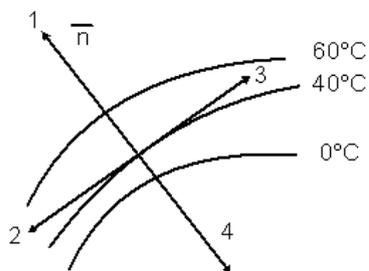
Техническую работу на сжатие и перемещение газа в поршневом компрессоре производят ...

Варианты ответа

Решение

- цилиндр с поршнем компрессора
- приводной двигатель
- всасывающий и нагнетательный клапаны
- шатун и коленвал

I Задание № 13



Направление градиента температуры, показанного на графике, обозначено цифрой ...

Варианты ответа

Решение

- 3
- 4
- 1
- 2

Задание № 14

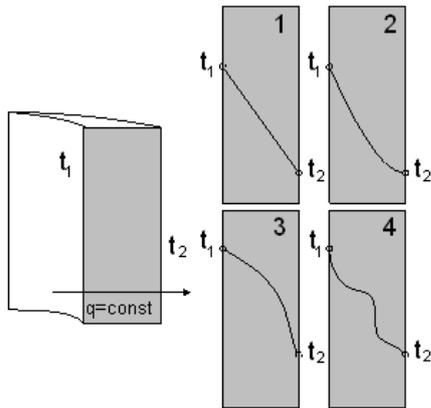


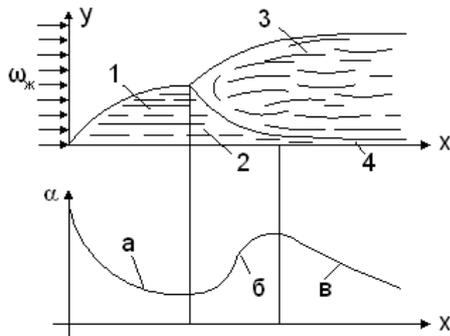
График распределения температуры по толщине однородной однослойной цилиндрической стенки, представленной на рисунке, обозначен цифрой ...

Варианты ответа

Решение

- 1
- 2
- 4
- 3

Задание № 15



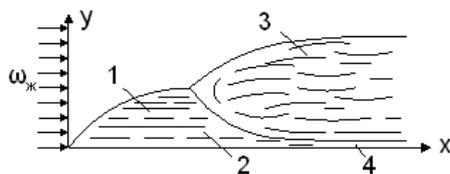
На участке б коэффициент теплоотдачи увеличивается из-за ...

Варианты ответа

Решение

- увеличения толщины ламинарного подслоя
- уменьшения толщины ламинарного подслоя
- увеличения или постоянства толщины ламинарного подслоя
- постоянства толщины ламинарного подслоя

Задание № 16



Для расчета локальных коэффициентов теплоотдачи на участке 3 используется уравнение подобия ...

Варианты ответа

Решение

- $\overline{Nu}_{\text{жс}} = 0,66 \cdot Re_{\text{жс}}^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot (Pr_{\text{жс}}/Pr_c)^{0,25}$
- $Nu_{\text{жс}} = 0,33 \cdot X^{-0,5} \cdot Re_{\text{жс}}^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot (Pr_{\text{жс}}/Pr_c)^{0,25}, Re_{\text{жс}}$
- $\overline{Nu}_{\text{жс}} = 0,037 \cdot Re_{\text{жс}}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr_{\text{жс}}/Pr_c)^{0,25}$
- $Nu_{\text{жс}} = 0,03 \cdot X^{-0,2} \cdot Re_{\text{жс}}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr_{\text{жс}}/Pr_c)^{0,2}$

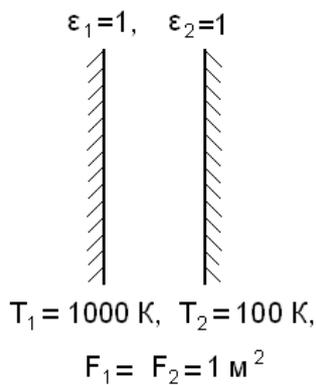
Задание № 17

Не излучают и не поглощают лучистую энергию следующие газы ...

Варианты ответа [Решение](#)

- $C_2H_5OH$  и  $H_2O$
- $CO_2$  и  $H_2O$
- $Ar$  и  $N_2$
- $NH_3$  и  $H_2O$

Задание № 18



Для 2-х плоскопараллельных поверхностей, представленных на рисунке, плотность результирующего теплового потока от первого тела на второе равна ...

Варианты ответа [Решение](#)

- $q_{1,2} \approx 5,67 \cdot 10^4$
- $q_{1,2} \approx 5,67 \cdot 10^2$
- $q_{1,2} \approx 5,67 \cdot 10^{-4}$
- $q_{1,2} \approx 5,67 \cdot 10^8$

Задание № 19

Стационарный процесс передачи теплоты от более нагретого теплоносителя к менее нагретому через разделяющую их стенку называется ...

Варианты ответа [Решение](#)

- теплоотдачей
- теплопередачей
- тепловым излучением
- теплопроводностью

Задание № 20

Поверхность, необходимая для передачи теплового потока  $Q$  от горячего теплоносителя к холодному, определяется из ...

Варианты ответа

Решение

уравнения Ньютона – Рихмана

уравнения теплопередачи

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t$$

уравнения теплового баланса

уравнения Фурье

Задание № 21

Формула Менделеева МДж/кг для твердого топлива имеет вид ...

Варианты ответа

Решение

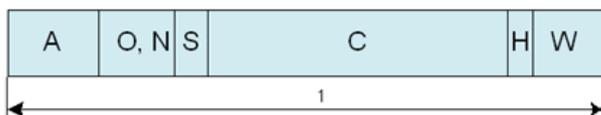
$$Q_i^r = 0,34C^r + 1,03H^r - 0,11(O^r - S_C^r) - 0,025W^r$$

$$Q_i^r = 0,34C^r + 1,03H^r + 0,11(O^r - S_C^r) - 0,025W^r$$

$$Q_i^r = 0,34C^r + 1,03H^r + 0,11(O^r - S_C^r) + 0,025W^r$$

$$Q_i^r = 0,34C^r + 1,03H^r - 0,11(O^r - S_C^r) + 0,025W^r$$

Задание № 22



На рис. представлен состав жидкого топлива. Цифрой 1 обозначена \_\_\_ масса топлива.

Варианты ответа

Решение

рабочая

сухая

органическая

влажная беззольная

Задание № 23

Количество кислорода, необходимое для полного сгорания 2 кг водорода, в соответствии со стехиометрической реакцией  $H_2 + 0,5O_2 = H_2O$  равно \_\_\_ кг.

Варианты ответа

Решение

- 18
- 16
- 1,8
- 1,6

Задание № 24

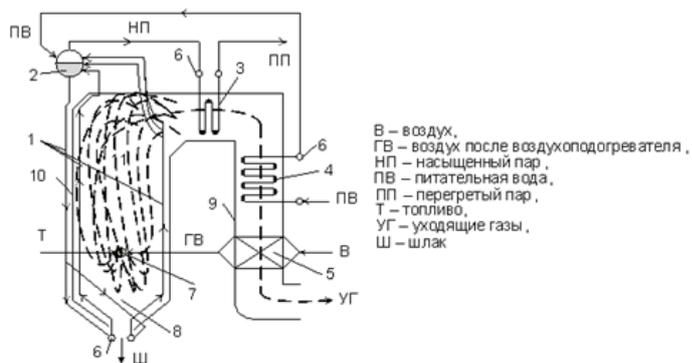
Быстрое и экономичное сжигание жидкого топлива обеспечивается реализацией следующих мероприятий ...

Варианты ответа

Решение

- мелким распылом
- крупным распылом, хорошим перемешиванием окислителем и надежной стабилизацией горения
- мелким распылом, хорошим перемешиванием окислителем и надежной стабилизацией горения
- хорошим перемешиванием с окислителем и стабилизацией горения

Задание № 25



Цифрой 2 на схеме вертикально-водотрубного барабанного парового котла с естественной циркуляцией, показанного на рисунке, обозначен(а) ...

Варианты ответа

Решение

- пароперегреватель
- топочная камера
- барабан
- водяной экономайзер

Задание № 26

К тягодутьевым машинам котельной установки относятся ...

Варианты ответа

Решение

- дутьевой вентилятор и дымосос
- дутьевой вентилятор, дымосос, дымовая труба
- дутьевой вентилятор, дымосос, питательный насос
- дутьевой вентилятор, дымосос, дымовая труба, устройства очистки дымовых газов

Задание № 27

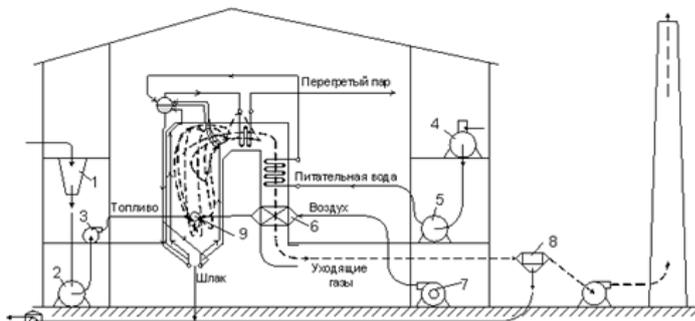
КПД «брутто» современных котлов \_\_\_\_ %.

Варианты ответа

Решение

- ≤ 50
- ≥ 90
- = 100
- ≤ 20

Задание № 28



Варианты ответа

Решение

- золоуловитель
- пылеугольная горелка
- бункер сырого угля
- вентилятор для подачи угольной пыли

## АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины

### Теплотехника

#### 1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является получение знаний о методах преобразования, передачи и использования теплоты в такой степени, чтобы они могли выбирать и эксплуатировать необходимое теплотехническое оборудование в области автомобильного транспорта, обеспечивая максимальную экономию топливно-энергетических ресурсов и материалов, интенсификацию и оптимизацию технологических процессов, выявление и использование вторичных ресурсов, а также получение практических навыков в решении инженерных задач.

Задачами дисциплины являются:

- получение знаний о теплотехнической терминологии, о законах получения и преобразования энергии, методах анализа эффективности использования теплоты;
- получение знаний о принципах действия, схем, областей применения и потенциальных возможностях основного теплотехнического и теплоэнергетического оборудования (тепловые двигатели, теплообменники, печи и др.);
- приобретение умения экспериментально определять и теоретически рассчитывать характеристики теплового и теплоэнергетического оборудования, производить измерение основных теплотехнических показателей, связанных с профилем инженерной деятельности.

#### 2. Структура дисциплины

2.1. Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекций – 4 часов, практических занятий – 6 часа, самостоятельная работа обучающихся – 58 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа, 2 зачетных единицы.

2.2. Основные разделы дисциплины:

- 1 – Термодинамика.
- 2 – Техническая термодинамика.
- 3 – Основы теории теплообмена.

#### 3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

**ПК-12** владение знаниями направлений полезного использования природных ресурсов, энергии и материалов при эксплуатации, ремонте и сервисном обслуживании транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования различного назначения, их агрегатов, систем.

**ОПК-3** готовностью применять систему фундаментальных знаний (математических, естественнонаучных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов

4. Вид промежуточной аттестации: зачет.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,

*(разработчик)*

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

*(подпись)*

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки: 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» от «14» декабря 2015 года № 1470

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «25» февраля 2016 г. № 128.

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «06» марта 2017 г. № 125.

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «12» марта 2018 г. № 130.

**Программу составил (и):**

Камнев А.В., ассистент \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры МиТ

от «11» декабря 2018 г., протокол № 6

И.о. заведующего кафедрой МиТ \_\_\_\_\_ Е.А. Слепенко

**СОГЛАСОВАНО:**

И.о. заведующего выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_ Е.А. Слепенко

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией механического факультета

от « 14 » декабря 2018 г., протокол № 4.

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ Г.Н. Плеханов

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_