

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автомобильного транспорта

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

Е.И.Луковникова

« _____ » декабря 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ
АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ**

Б1. В.ДВ.03.01

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

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

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Автомобили и автомобильное хозяйство (прикладной бакалавриат)

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости.....	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	6
4.3 Лабораторные работы.....	21
4.4 Практические занятия.....	21
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	21
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	22
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	23
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	23
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	24
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	19
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических занятий.....	19
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	29
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	29
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	30
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	33
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	34

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.

Цель дисциплины:

– дать будущим специалистам автомобильного транспорта необходимые знания о методах получения, преобразования, передачи и использования теплоты в автомобильных агрегатах 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.

Задачи дисциплины:

– формирование знаний теплотехнической терминологии, законов получения и преобразования энергии, методов анализа эффективности использования теплоты ;
– формирование знаний принципов действия, схем, областей применения и потенциальных возможностей основного теплотехнического и теплоэнергетического оборудования (двигатели с наддувом, радиаторы, отопители и др.);
– формирование 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-9	способность к участию в составе коллектива исполнителей в проведении исследования и моделирования транспортных и транспортно-технологических процессов и их элементов	знать: – законы термодинамики, действующие в теплотехнических устройствах автомобиля, термодинамические процессы и циклы, термодинамический анализ теплотехнических устройств; применения теплоты в отрасли; уметь: – осуществлять теплотехнические измерения параметров ТпТМО; – использовать законы термодинамики, действующие в теплотехнических устройствах автомобиля; владеть: – методами расчета основных термодинамических процессов, тепловых циклов двигателей внутреннего сгорания и тепловых устройств автомобиля, анализа их эффективности по исходным данным.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.3.1 «Теплотехнические основы работы автомобильных агрегатов» относится к элективной части.

Дисциплина «Теплотехнические основы работы автомобильных агрегатов» базируется на знаниях, полученных при изучении учебных дисциплин основных общеобразовательных программ «Физика», «Математика».

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, дисциплина «Теплотехнические основы работы автомобильных агрегатов» представляет основу для изучения дисциплины «Основы теории надёжности».

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 (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	3	180/5	51/11	17	-	34	75	-	экзамен
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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 семестрам, час
			3
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	51	11	51
Лекции (Лк)	17	4	17
Практические занятия (ПР)	34	7	34
Групповые (индивидуальные) консультации*	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	75	-	75
Подготовка к практическим занятиям	68	-	68
Подготовка к экзамену в течение семестра	8	-	8
III. Промежуточная аттестация	54		54
экзамен			
зачёт	-		-
Общая трудоемкость дисциплины час.	180	-	180
зач. ед.	5	-	5

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудо-ем-кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся, и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоя-тельная работа обучаю-щихся*
			лекции	практиче-ские занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом	52	8	16	28
1.1.	Сравнение термодинамических циклов ДВС	16	2	4	10
1.2.	Цикл Стирлинга как перспективный цикл автомобильного двигателя	16	2	4	10
1.3	Газотурбинный двигатель как составная часть двигателя с наддувом	10	2	4	4
1.4	Автомобильный двигатель с наддувом	10	2	4	4
2.	Расчёт компрессоров автомобиля	34	4	8	22
2.1.	Многоступенчатый идеальный компрессор	18	2	4	12
2.2.	Компрессор как составная часть турбокомпрессора	16	2	4	10
3.	Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля	40	5	10	25
3.1.	Применение уравнений стационарной теплопроводности к аппаратам автомобиля.	18	2	4	12
3.2.	Теплообменники автомобиля	22	3	6	13
	ИТОГО	126	17	34	75

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Раздел 1. Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом

Тема 1.1. Сравнение термодинамических циклов ДВС

Занятие проводится в интерактивной форме – компьютерная презентация. Сравняются 3 цикла: циклы Отто, Дизеля, Тринклера.

Условия сравнения:

а) значения $P_1, V_1, T_1, \varepsilon$ одинаковы.

При таком условии сравнения диаграммы циклов выглядят так (см.рис.14).

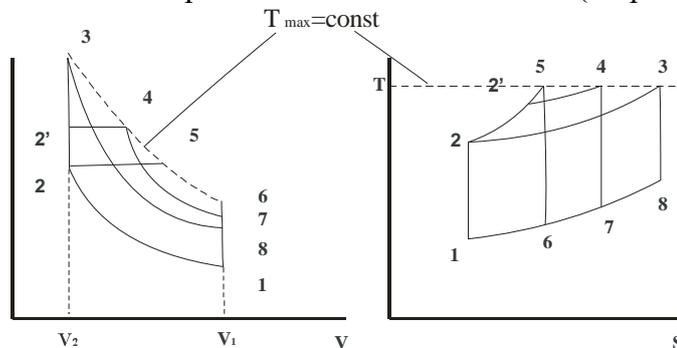


Рис. 14 – диаграммы циклов при 1 условии

Из диаграммы сравнения можно сделать вывод: $T_{ДЗ} > T_{ТР} > T_{ОТ} \Rightarrow \eta_{от} > \eta_{тр} > \eta_{д}$, а также $P_{ОТ} > P_{ТР} > P_{д}$.

б) значения $P_1, V_1, P_{max}, T_{max}$.

Диаграмма циклов представлена на рисунке 15.

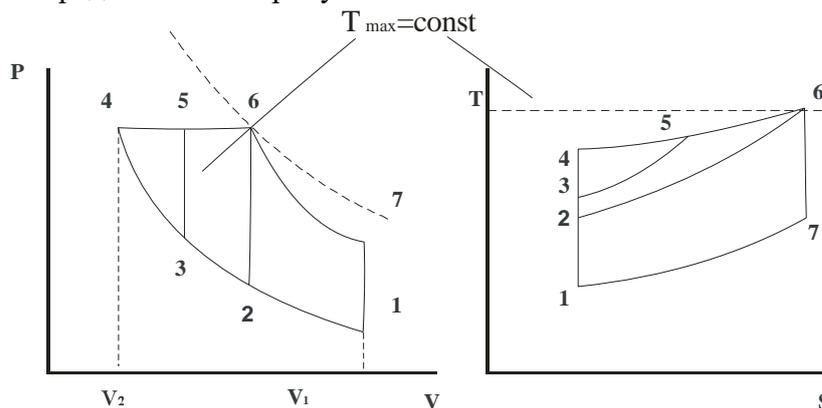


Рис.15 – диаграмма циклов при 2 условии

По второй диаграмме можно сделать вывод:

$T_{ДЗ} > T_{ТР} > T_{ОТ} \Rightarrow \eta_{д} \gg \eta_{тр} > \eta_{от}$, однако $\varepsilon_{д} > \varepsilon_{тр} > \varepsilon_{от}$.

Раздел 1. Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом

Тема 1.2. Цикл Стирлинга как перспективный цикл автомобильного двигателя

Занятие проводится в интерактивной форме – компьютерная презентация.

Преимущества двигателя Стирлинга:

- 1) КПД больше, чем у дизеля;
- 2) Экономичность топлива.

Недостатки:

- 3) потребность в тепловой энергии;
- 4) сложная конструкция, большие размеры.

Принципиальная схема двигателя Стирлинга представлена на рисунке 9.

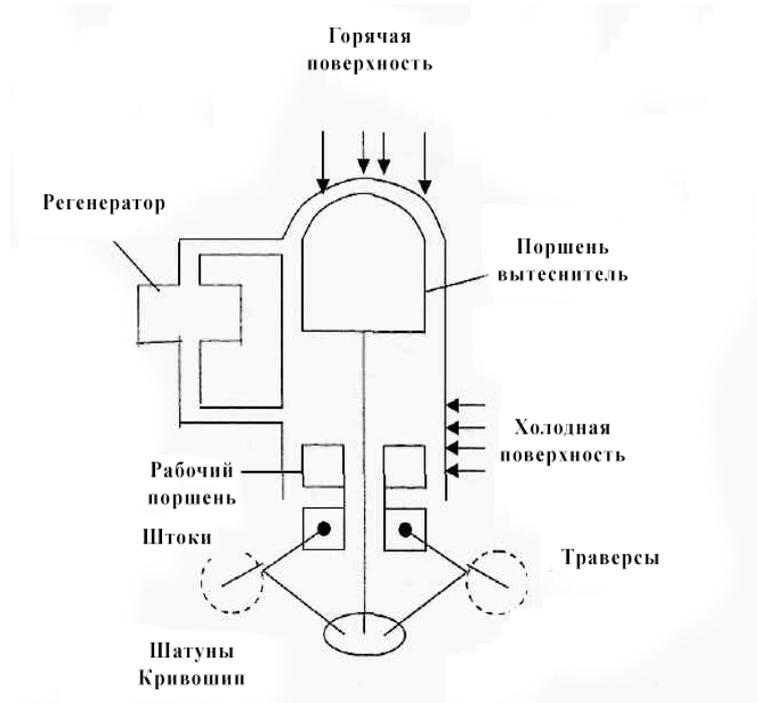


Рис. 9 – Принципиальная схема двигателя Стирлинга

Цикл работы двигателя Стирлинга представлен на рисунке.10.

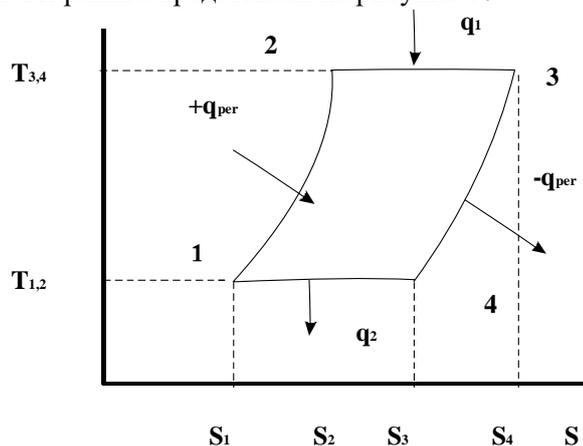


Рис. 10 - Цикл Стирлинга

При цикле происходят следующие процессы:

1-2: Поршень движется вверх, вытеснитель стоит в верхнем положении, рабочее тело сжимается, теплота отводится к холодильнику;

2-3: Поршень стоит в верхнем положении, вытеснитель движется вниз, рабочее тело перемещается в нагреватель, давление отдают;

3-4: Поршень движется вниз, вытеснитель стоит в нижнем положении, рабочее тело, совершает работу, теплота передается нагревателю;

4-1: Поршень стоит внизу, вытеснитель движется вверх, рабочее тело перемещается в холодильник вытеснителем, давление растет.

Параметры, характеризующие цикл:

$$1) \quad \eta = 1 - \frac{T_{1,2}}{T_{3,4}} - \text{КПДцикла};$$

$$2) \quad \text{Степень изометрического расширения} - \lambda;$$

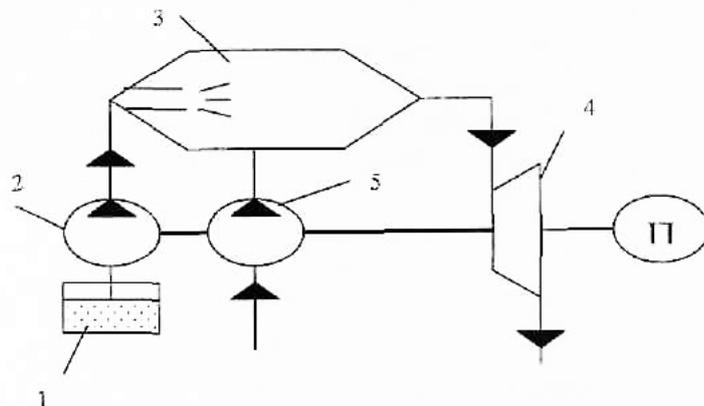
$$3) \quad \text{Среднее давление цикла} \quad P_l = P_{\max} * \frac{\ln \lambda}{\lambda - 1} * \eta_l, \text{ где } P_{\max} - \text{максимальное давление}$$

цикла.

Раздел 1. Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом Тема 1.3. Газотурбинный двигатель как составная часть двигателя с наддувом

Газотурбинная установка (ГТУ) – установка, предназначенная для получения механической работы или выработки энергии, основной частью которой является газовая турбина (ГТ) – механизм, в котором рабочее тело совершает работу, вращая рабочее колесо. Часть работы идет на привод компрессора, а другая часть через редуктор передается потребителю.

Схема газотурбинной установки представлено на рисунке 16.



1 - топливный бак; 2 - топливный насос; 3 - камера сгорания; 4 - газовая турбина; 5 - компрессор

Рис. 16 - Схема газотурбинной установки

В процессе цикла работы, происходят следующие процессы (рис. 17):

1-2 и 3-4: сжатие и расширение воздуха в компрессоре соответственно;

2-3 и 4-1: соответственно отвод и подвод тепла.

КПД цикла равно:

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\frac{k-1}{\pi_k^k}}, \text{ где } k - \text{показатель адиабаты; } \pi_k - \text{степень повышения давления.}$$

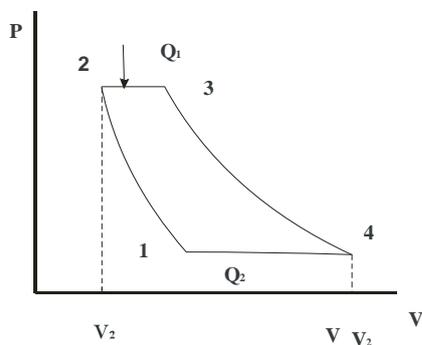


Рис. 17 - Цикл работы ГТУ

Раздел 1. Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом

Тема 1.4. Автомобильный двигатель с наддувом

Цикл с продольным расширением в газовой турбине 5-6 (рис. 8) и сжатие свежего заряда в компрессоре 1-6.

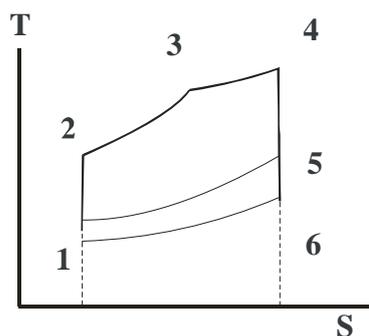


Рис. 8 – Цикл комбинированного двигателя

Коэффициент полезного действия (КПД)-цикловое:

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\varepsilon_0^{k-1}} \cdot \frac{\lambda^k p^k - 1}{(\lambda - 1) + k \lambda^k (\rho - 1)}$$

Среднее цикловое давление:

$$P_i = \frac{P_0 \cdot \varepsilon_0^k \cdot [\lambda - 1 + k \lambda^k (\rho - 1)]}{(k - 1) \cdot (\varepsilon - 1)}, \text{ где } k - \text{ показатель адиабаты; } \varepsilon - \text{ степень сжатия; } \lambda -$$

степень повышения давления; ρ - степень предварительного расширения; P_0 - начальное давление.

Раздел 2. Расчёт компрессоров автомобиля

Тема 2.1. Многоступенчатый идеальный компрессор

В общем случае сжатие газа в поршневом компрессоре может быть изотермическим (процесс 1-2') с интенсивным отводом теплоты (показатель политропы $n=1$), адиабатным (процесс 1-2'', $dq=0$, $n=k$), политропным с отводом теплоты меньше, чем при изотермическом сжатии (процесс 1-2, $n=1,2\dots 1,25$).

Работа ℓ_k , затрачиваемая на привод компрессора при сжатии 1кг газа, и количество теплоты q_k , отводимое от газа в процессе сжатия, определяются по уравнениям:

$$\checkmark \text{ при изотермическом сжатии } \ell_k = q_k = RT_1 \ln \lambda; \quad (8.1)$$

$$\checkmark \text{ при адиабатном сжатии } (q_k = 0) \ell_k = \frac{k}{k-1} RT_1 \left(\lambda^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right); \quad (8.2)$$

$$\checkmark \text{ при политропном сжатии } \ell_k = \frac{n}{n-1} RT_1 \left(\lambda^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right); \quad (8.3)$$

$$q_k = c(T_2 - T_1) = c_v \frac{n-k}{n-1} T_1 \left(\lambda^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right), \quad (8.4)$$

где λ – степень повышения давления в ступени компрессора, $\lambda = \frac{p_2}{p_1}$.

При многоступенчатом сжатии обычно работа на привод компрессора для сжатия газа в каждой ступени и степень повышения давления в ступенях одинаковы ($\ell_i = idem$, $\lambda_i = idem$).

Тогда работа на привод компрессора

$$\ell_k = \sum \ell_i = m \ell_i; \quad (8.5)$$

степень повышения давления в компрессоре

$$\lambda_k = \lambda_i^m; \quad (8.6)$$

степень повышения давления в каждой i -й ступени

$$\lambda_i = \sqrt[m]{\lambda_k} = \sqrt[m]{\frac{p_{кон}}{p_{нач}}}; \quad (8.7)$$

давление на входе в i -ю ступень

$$p_i = p_1 \lambda^{i-1}, \quad (8.8)$$

где i – номер ступени; m – число ступеней; $p_{кон}$, $p_{нач}$ – давление газа на выходе из компрессора и входе в него, соответственно.

При одинаковом массовом наполнении рабочий объем V_{hi} ступеней уменьшается пропорционально увеличению плотности газа на входе в ступень. В случае промежуточного охлаждения (охлаждение после сжатия в каждой ступени) до начальной температуры T_1 , т.е. при $p_1 V_{h1} = p_i V_{hi}$ рабочий объем ступеней уменьшается пропорционально увеличению давления газа на входе в ступень. Тогда

$$V_{hi} = \frac{V_{h1}}{\lambda^{i-1}}. \quad (8.9)$$

Реальный компрессор, в отличие от идеального, имеет вредный объем $V_{вр}$ (рис.8.2), вследствие чего наполнение цилиндра и, соответственно, производительность компрессора уменьшаются.

Уменьшение объемного расхода оценивается объемным КПД

$$\eta_{об} = 1 - a \left(\lambda^{\frac{1}{n_2}} - 1 \right), \quad (8.10)$$

где a – относительный вредный объем, $a = \frac{V_{вр}}{V_h}$; в выполненных конструкциях компрессоров $a = 0,04 \dots 0,10$; n_2 – показатель политропы расширения газа.

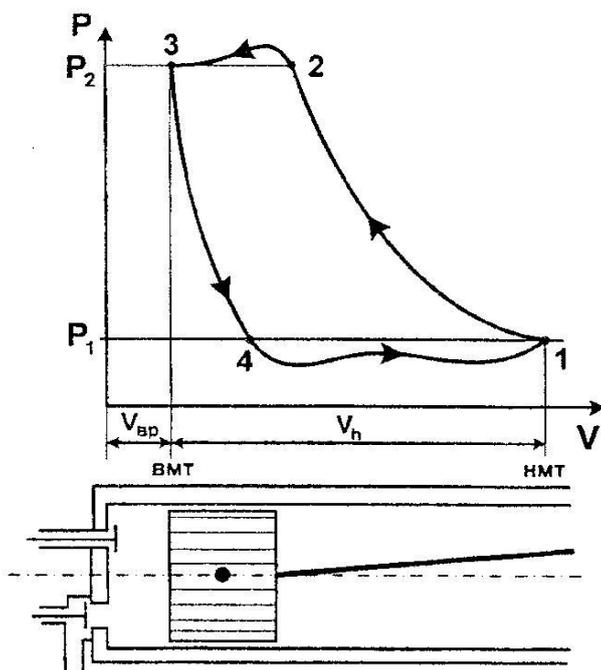


Рис. 8.2. Процессы сжатия в реальном компрессоре

Раздел 2. Расчёт компрессоров автомобиля
Тема 2.2. Компрессор как составная часть турбокомпрессора

При работе компрессора на наполнение баллона с ростом давления (с увеличением λ) объемный КПД уменьшается.

Компрессор прекращает подачу воздуха при $\eta_{об} = 0$, при этом отношение давления p_2 в конце сжатия к начальному давлению p_1 , равное λ_{max} , следует из уравнения (8.10). При условии одинаковых показателей политропы сжатия n_1 и расширения n_2 ($n_1 = n_2 = n$):

$$\lambda_{max} = \left(\frac{a+1}{a} \right)^n. \quad (8.11)$$

Объем газа, поступающего за цикл, определяется по выражению

$$V_{ц} = \eta_{об} V_h, \quad (8.12)$$

а масса поступающего в цилиндр газа

$$M_{ц} = \rho_1 V_{ц}, \quad (8.13)$$

где ρ_1 – плотность поступающего воздуха, $\rho_1 = \frac{p_1}{RT_1}$.

Объемная $V_{ч}$ ($m^3/ч$) и массовая $G_{ч}$ ($кг/ч$) производительность компрессора вычисляются по уравнениям:

$$V_{ч} = 60 i n_k V_h \eta_{об}; \quad (8.14)$$

$$G_{ч} = 60 i n_k M_{ц} = \rho_1 V_{ч}, \quad (8.15)$$

где i – число цилиндров; n_k – частота вращения коленчатого вала компрессора, $мин^{-1}$; V_h – рабочий объем цилиндра, m^3 .

Мощность N_k (кВт), необходимая для привода компрессора, зависит от удельной работы ℓ_k (кДж/кг), производительности компрессора $G_{ч}$ (кг/ч) и механического КПД компрессора η_m :

$$N_k = \frac{\ell_k G_{ч}}{3600 \eta_m}. \quad (8.16)$$

Центробежный компрессор.

В основе расчета центробежного компрессора (рис. 8.3) лежат три основных уравнения: расхода, первого закона термодинамики для газового потока (уравнение энергии) и момента количества движения.

Из уравнения расхода $G = \rho v A$ определяются площади проходных сечений и, соответственно, диаметры рабочего колеса, диффузора и выходного патрубка.

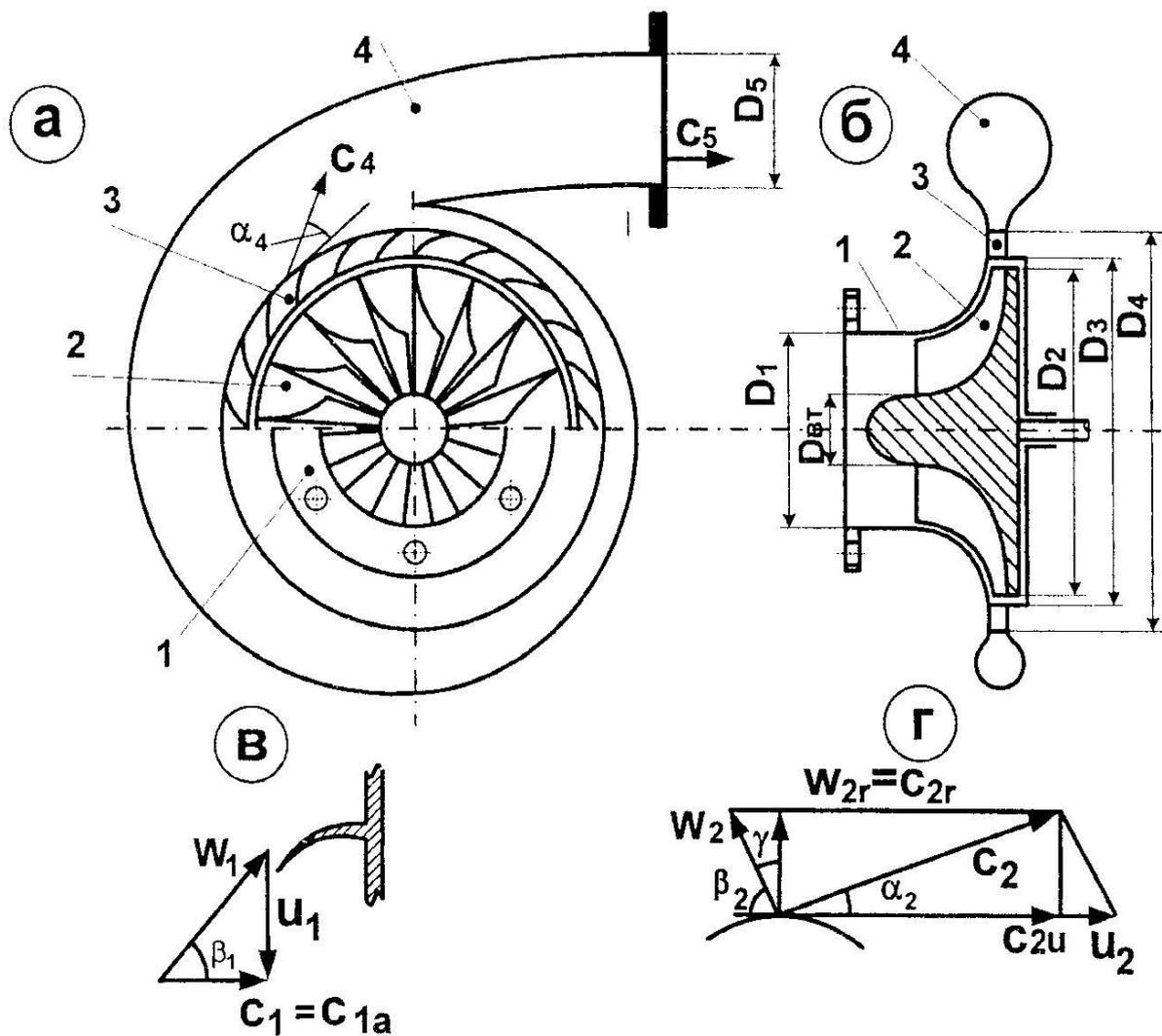


Рис. 8.3 Схема центробежного компрессора:

а – вид спереди с поперечным разрезом; б – продольный разрез компрессора; в – треугольники скоростей на входе в рабочее колесо; г – треугольники скоростей на выходе из рабочего колеса; 1 – входной патрубок; 2 – рабочее колесо; 3 – диффузор; 4 – выходной патрубок; C_1, C_2 – абсолютные скорости на входе в рабочее колесо и на выходе из него; C_{1a} – осевая составляющая абсолютной скорости на входе в рабочее колесо; C_{2u}, C_{2r} – окружная и радиальная составляющие абсолютной скорости на выходе из колеса; W_1, W_2 – относительные скорости газа на входе в рабочее колесо и выходе из него; u_1, u_2 – окружные скорости рабочего колеса на среднем радиусе на входе и на наружном радиусе на выходе; C_4 – абсолютная скорость на выходе из диффузора; C_5 – абсолютная скорость газа на выходе из компрессора

Наружный диаметр колеса на входе вычисляется по выражению

$$D_1 = \sqrt{\frac{4G}{\pi c_{1a} \rho_1 \left[1 - \left(\frac{D_{BT}}{D_1} \right)^2 \right]}}, \quad (8.17)$$

где G – секундный расход газа, кг/с; c_{1a} – осевая составляющая абсолютной скорости на входе в колесо ($c_{1a} = 60 \dots 120$ м/с); $\frac{D_{BT}}{D_1}$ – конструктивный параметр (отношение диаметра втулки к наружному диаметру колеса на входе), $\frac{D_{BT}}{D_1} = 0,3 \dots 0,5$.

Диаметр втулки

$$D_{BT} = D_1 \left(\frac{D_{BT}}{D_1} \right). \quad (8.18)$$

Уравнение энергии применяется для определения необходимой удельной работы при заданной степени повышения давления π_k .

В адиабатном процессе сжатия

$$l_k^{ад} = \frac{k}{k-1} RT_1 \left(\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right), \quad (8.19)$$

$$\text{с учетом потерь } l_k = \frac{l_k^{ад}}{\eta_{ад}}, \quad (8.20)$$

где $\eta_{ад}$ – адиабатный КПД компрессора.

Удельная работа определяется также по уравнению

$$l_k = \frac{M_k \omega_k}{G} = (c_{2u} r_2 - c_{1u} r_1) \omega_k, \quad (8.21)$$

где M_k – крутящий момент, Н·м; ω_k – угловая скорость рабочего колеса, 1/с.

С учетом осевого входа воздуха в колесо ($c_{1u} = 0$) и соотношений $\omega_k = \frac{u_2}{r_2}$, $\frac{c_{2u}}{u_2} = \mu_k$, $u_2 = \frac{\pi D_2 n_k}{60}$ следует уравнение связи удельной работы с параметрами рабочего колеса

$$\ell_k = \frac{\mu_k \pi^2 D_2^2 n_k^2}{3600}. \quad (8.22)$$

Из этого уравнения при заданной частоте вращения рабочего колеса n_k определяется наружный диаметр колеса

$$D_2 = \sqrt{\frac{3600 \cdot \ell_k}{\mu_k \pi^2 n_k^2}}. \quad (8.23)$$

В этих уравнениях μ_k – коэффициент мощности; c_{2u} – окружная составляющая абсолютной скорости воздуха на выходе из рабочего колеса; u_2 – окружная скорость на выходе из колеса.

Мощность на привод компрессора (кВт)

$$N_k = \frac{\ell_k G}{\eta_m}, \quad (8.24)$$

где ℓ_k – удельная работа, кДж/кг; G – секундный расход газа, кг/с; η_m – механический КПД

Примеры решения задач.

Задача 8.1. Из атмосферы при барометрическом давлении $B_t = 753,6$ мм рт. ст. и температуре $t_1 = 27$ °С воздух поступает в трехступенчатый поршневой компрессор ($m=3$) с относительным вредным объемом ступеней $a_1 = 0,06$; $a_2 = 0,065$; $a_3 = 0,07$. Между ступенями воздух охлаждается с понижением температуры после первой ступени на $\Delta T_1 = 70$ К, после второй ступени на $\Delta T_2 = 50$ К. В каждой ступени: степень повышения давления $\lambda = 5,3$; показатели политропы сжатия $n_1 = 1,25$ и расширения остаточного воздуха $n_2 = 1,45$; производительность компрессора $G_q = 30$ кг/ч; частота вращения вала $n_k = 2000$ мин⁻¹; отношение $\frac{S}{D} = 1$; механический КПД компрессора $\eta_m = 0,3$. Процессы в ступенях компрессора в v - p -координатах показаны на рис. 8.4. Определить параметры воздуха на выходе из компрессора, размеры цилиндров ступеней (диаметр D и ход поршня S) и мощность на привод компрессора.

Раздел 3. Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля

Тема 3.1. Применение уравнений стационарной и нестационарной теплопроводности к аппаратам автомобиля

В соответствии с законом Фурье при стационарном процессе теплопроводности тепловой поток (мощность теплового потока) dQ , передаваемый через элементарную площадку dA , определяется выражением

$$dQ = -\lambda \text{grad}(t) dA \quad \text{или} \quad dQ = -\lambda \frac{dt}{dn} dA, *$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $\text{grad}(t)$ – градиент температуры, $\text{grad}(t) = \frac{dt}{dn}$, К/м.

Знак минус в формуле Фурье учитывает разную направленность теплового потока и градиента температуры.

Плотность теплового потока

$$q = -\lambda \frac{dt}{dn}$$

Теплопроводность через плоскую стенку

Для однослойной стенки

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w_1} - t_{w_2}) A; \quad (12.1)$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w_1} - t_{w_2}), \quad (12.2)$$

где t_{w_1} и t_{w_2} – температуры поверхностей с горячей и холодной сторон пластины соответственно; δ – толщина стенки, м; A – площадь теплопередающей поверхности, м².

При линейном распределении температуры по толщине стенки температура в произвольном x его сечении

$$t_{wx} = t_{w_1} - q \frac{\delta_x}{\lambda}. \quad (12.3)$$

Для многослойной плоской стенки, состоящей из n слоев,

$$Q = \frac{(t_{w_1} - t_{w_{n+1}}) A}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (12.4)$$

где $\frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – термические сопротивления R_i отдельных слоев многослойной стенки.

Тепловой поток через цилиндрическую стенку

Для однослойной стенки

$$Q = \frac{2\pi\ell(t_{w_1} - t_{w_2})}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (12.5)$$

В этой формуле ℓ – длина стенки, м; d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры стенки, м.

Так как в цилиндрической стенке распределение температур по её толщине определяется логарифмической зависимостью, то температура в произвольном сечении вычисляется по формуле

$$t_{wx} = t_{w_1} - \frac{Q \ln \left(\frac{d_x}{d_1} \right)}{2\pi\ell\lambda}. \quad (12.6)$$

Для многослойной стенки

$$Q = \frac{2\pi\ell(t_{w_1} - t_{w_{n+1}})}{\sum_1^n \left(\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right)}. \quad (12.7)$$

Температура на стыке слоев

$$t_{w_{i,(i+1)}} = t_{w_1} - \frac{Q \sum_1^n \left(\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right)}{2\pi\ell}. \quad (12.8)$$

Тепловой поток через однослойную сферическую стенку

$$Q = \frac{4\pi\lambda(t_{w_1} - t_{w_2})}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}}. \quad (12.9)$$

Раздел 3. Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля
Тема 3.2. Теплообменники автомобиля

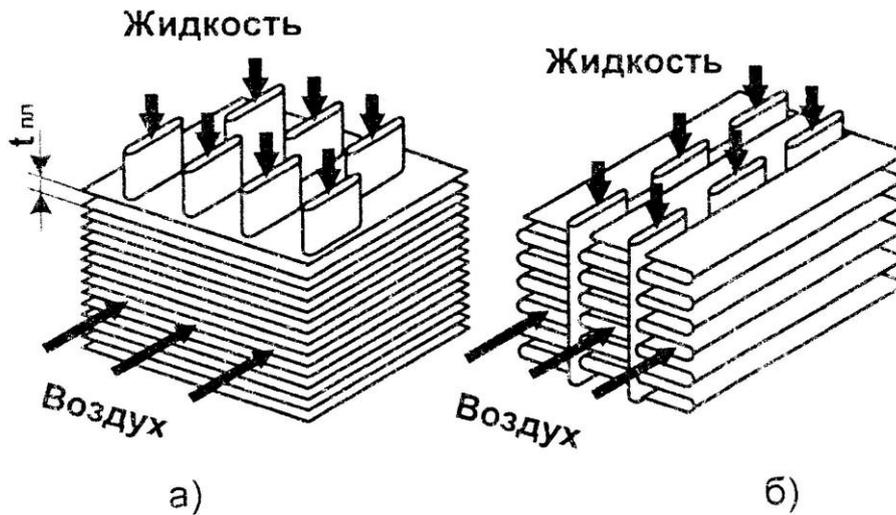


Рис. 16.3. Схемы теплопередающих поверхностей ТОА:
а – трубчато-пластинчатый с шахматным расположением трубок;
б – трубчато-ленточный

К основным уравнениям, описывающим процессы передачи теплоты в ТОА, относятся:

- количество теплоты, передаваемой горячим теплоносителем теплопередающей поверхности,

$$Q = \alpha_r (A_c + \Psi_{pr} A_{pr}) (\bar{T}_r - \bar{T}_{cr}); \quad (16.1)$$

- количество теплоты, проходящей через стенку, разделяющую каналы,

$$Q = \frac{\lambda_c}{\delta_c} A_c (\bar{T}_{cr} - \bar{T}_{cx}); \quad (16.2)$$

- количество теплоты, передаваемой теплопередающей поверхностью холодному теплоносителю,

$$Q = \alpha_x (A_c + \Psi_{rx} A_{rx}) (\bar{T}_{cx} - \bar{T}_x); \quad (16.3)$$

- уравнение теплопередачи

$$Q = kA\Delta\bar{T}. \quad (16.4)$$

В этих уравнениях: α_r, α_x – коэффициенты теплоотдачи со стороны горячего и холодного теплоносителей; A_c – площадь теплопередающей поверхности разделяющей стенки; A_{pr}, A_{rx} – площади теплопередающей поверхности ребер со стороны горячего и холодного теплоносителей; A – расчетная площадь теплопередающей поверхности (может приниматься $A = A_r = A_c + A_{pr}$ или $A = A_x = A_c + A_{rx}$);

$\Psi_{рг}, \Psi_{рх}$ – коэффициенты эффективности ребер с горячей и холодной сторон; δ_c, λ_c – толщина и коэффициент теплопроводности разделяющей стенки; $\bar{T}_г, \bar{T}_х$ – средние температуры горячего и холодного теплоносителей; $\bar{T}_{сг}, \bar{T}_{сх}$ – средние температуры стенки с горячей и холодной сторон; $\Delta\bar{T}$ – средний температурный напор; k – коэффициент теплопередачи, определяемый в соответствии с принятой расчетной площадью теплопередающей поверхности (при площади $A = A_r$ коэффициент $k = k_r$, при площади $A = A_x$ коэффициент $k = k_x$).

Коэффициент эффективности ребра определяется по уравнению

$$\Psi_p = \frac{e^{2mh_p} - 1}{mh_p(e^{2mh_p} + 1)}, \quad (16.5)$$

где h_p – приведенная высота ребра, м; m – параметр, характеризующий соотношение между теплоотдачей и теплопроводностью ребра,

$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda_p \delta_p}}$, 1/м; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); δ_p, λ_p –

толщина (м) и коэффициент теплопроводности ребра, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплопроводности при двустороннем оребрении (например, в пластинчато-ребристых ТОА - рис.16.4) определяется из выражения

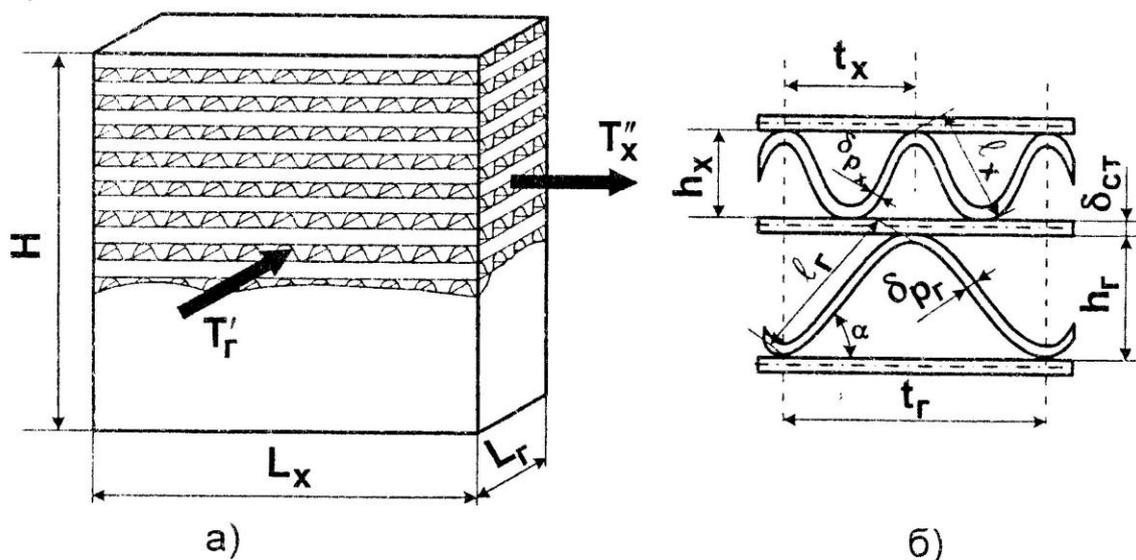


Рис.16.4. Схемы пластинчато-ребристого охладителя наддувного воздуха дизеля: а – матрица с габаритными размерами; б – характерный элемент матрицы в направлении движения горячего теплоносителя (каналы холодного теплоносителя повернуты на 90°)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\frac{A_c + \Psi_{pr} A_{pr}}{A} \alpha_r} + \frac{1}{\frac{A_c \lambda_c}{A} \delta_c} + \frac{1}{\frac{A_c + \Psi_{px} A_{px}}{A} \alpha_x}. \quad (16.6)$$

➤ При расчетной площади A_r со стороны горячего теплоносителя

$$\frac{1}{k_r} = \xi_{opr} \left\{ \frac{1}{\alpha_r [1 + \Psi_{pr} (\xi_{opr} - 1)]} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}} + \frac{1}{\alpha_x [1 + \Psi_{px} (\xi_{opr} - 1)]} \right\}. \quad (16.7)$$

✓ При оребрении только со стороны холодного теплоносителя ($A = A_r = A_c$, $A_{pr} = 0$, $\xi_{opr} = 1$), например в радиаторах системы охлаждения ДВС,

$$\frac{1}{k_r} = \frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{[1 + \Psi_{px} (\xi_{opr} - 1)] \alpha_x}. \quad (16.8)$$

✓ Без учета эффективности ребра ($\Psi_{px} = 1$)

$$\frac{1}{k_r} = \frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\xi_{opr} \alpha_x}. \quad (16.9)$$

➤ При расчетной площади A_x со стороны холодного теплоносителя

$$\frac{1}{k_x} = \xi_{opx} \left\{ \frac{1}{\alpha_r [1 + \Psi_{pr} (\xi_{opx} - 1)]} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}} + \frac{1}{\alpha_x [1 + \Psi_{px} (\xi_{opx} - 1)]} \right\}. \quad (16.10)$$

✓ При оребрении только со стороны холодного теплоносителя ($A = A_x = A_c + A_{px}$, $A_{pr} = 0$, $\xi_{opx} = 1$)

$$\frac{1}{k_x} = \xi_{opx} \left\{ \frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_x [1 + \Psi_{px} (\xi_{opx} - 1)]} \right\} \quad (16.11)$$

✓ Без учета эффективности ребра ($\Psi_{px} = 1$)

$$\frac{1}{k_x} = \xi_{opx} \left(\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} \right) + \frac{1}{\alpha_x}. \quad (16.12)$$

В этих уравнениях ξ_{opr} – коэффициент оребрения,

$$\xi_{opx} = \frac{A_x}{A_c} = \frac{A_c + A_{px}}{A_c}; \quad \xi_{opr} = \frac{A_r}{A_c} = \frac{A_c + A_{pr}}{A_c} \quad (16.13)$$

Коэффициент оребрения можно определить по выделяемому характерному элементу, на границах которого тепловой поток равен нулю (рис.16.5).

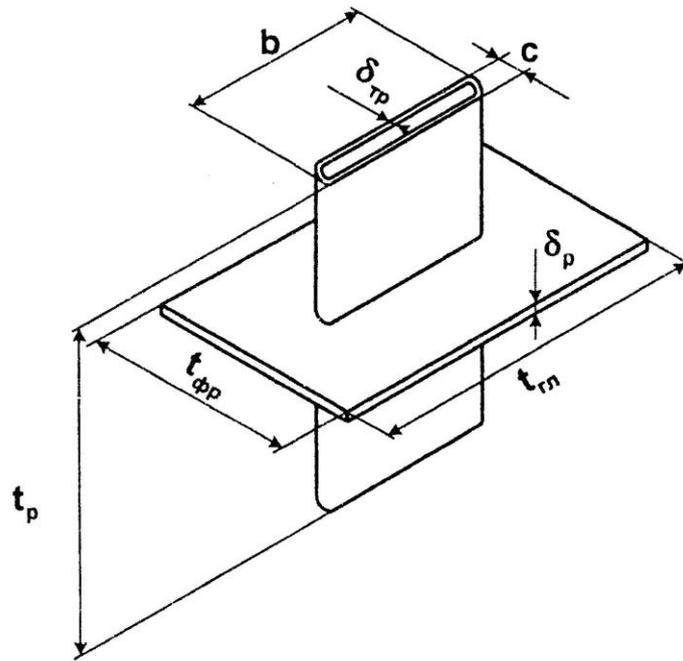


Рис. 16.5. Характерный элемент трубчато-пластинчатого ТОА

Средний температурный напор для прямоточного и противоточного ТОА (см. рис.16.2 а,б) принимается как среднелогарифмический напор

$$\Delta \bar{T} = \frac{\Delta T' - \Delta T''}{\ln\left(\frac{\Delta T'}{\Delta T''}\right)}. \quad (16.14)$$

Для ТОА с другой схемой движения теплоносителей вводится поправочный коэффициент, учитывающий отличие среднего напора от напора в противоточном ТОА,

$$\Delta \bar{T} = \varepsilon_{\Delta T} \Delta \bar{T}_{\text{прот}}, \quad (16.15)$$

где $\Delta \bar{T}_{\text{прот}}$ – среднелогарифмический температурный напор в противоточном ТОА; $\varepsilon_{\Delta T}$ - коэффициент, определяемый по графикам в зависимости от параметров P и R ,

$$P = \frac{T''_x - T'_x}{T'_r - T'_x}; \quad R = \frac{T'_r - T''_r}{T''_x - T'_x}. \quad (16.16)$$

Для перекрестноточного ТОА $\varepsilon_{\Delta T} = f(P, R)$ определяется по графику рис.П.6 приложения 6.

При небольшой разнице температур теплоносителей средний температурный напор с пренебрежимо малой погрешностью можно принять как среднеарифметический.

4.3. Лабораторные работы
Учебным планом не предусмотрены.

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование практических занятий</i>	<i>Объ- ем (час.)</i>	<i>Вид занятия в инте- рактивной, ак- тивной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2	3	4	5
1	1.	Сравнение термодинамических циклов ДВС	4	Компьютерная презентация (4ч)
2		Цикл Стирлинга как перспективный цикл автомобильного двигателя	4	Компьютерная презентация (3ч)
3		Газотурбинный двигатель как составная часть двигателя с наддувом	4	-
4		Автомобильный двигатель с наддувом	4	-
5	2.	Многоступенчатый идеальный компрессор	4	-
6		Компрессор как составная часть турбокомпрессора	4	-
7	3.	Применение уравнений стационарной теплопроводности к аппаратам автомобиля.	4	-
8		Теплообменники автомобиля	6	-
ИТОГО			34	7

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

Учебным планом не предусмотрено

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

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		Σ <i>комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебной работы</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ПК-9</i>					
1	2	3		4	5	6	7
1. Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом	86	+		1	86	Лк, ПЗ, СРС	Экзамен
2. Расчёт компрессоров автомобиля.	56	+		1	56	Лекции, ПЗ СРС	Экзамен
3. Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля	29	+		1	29	Лекции, ПЗ, СРС	Экзамен
<i>всего часов</i>	171	171		1	171		

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

1. Витковский, С.Л. Теплотехника. Лаб.практикум / С.Л. Витковский. - Братск, БрГУ, 2007.–74 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
Основная литература				
1.	Круглов, Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 208 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/3900 .	Лк, ПЗ, СРС	ЭР	1
2.	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, СРС	15	1
Дополнительная литература				
3.	Панкратов Г.П. Сборник задач по теплотехнике.- М.: Высш. шк. 1986.– 248 с.	Лк, ПЗ, СРС	83	1
4.	Витковский С.Л. Теплотехника. Лаб.практикум. -Братск, БрГУ, 2007.– 74 с.	ПЗ, СРС	50	1
5.	Стандарт Системы менеджмента кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВПО «БрГУ». СТ АТ 2.301-2006. Оформление текстовых учебных документов / Сост. В.Н. Тарасюк. – Братск: БрГУ, 2006. – 23 с.	Лк, ПЗ, СРС	101	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=.
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

Для того чтобы достигнуть указанного в целевой установке уровня владения материалом дисциплины, следует систематически готовиться к занятиям, выполнять в полном объеме все задания лабораторных работ 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. Расчёт элементов циклов Карно, Отто, Тринклера.

Занятие проводится в интерактивной форме – компьютерная презентация. При выполнении работы используется фильм, имеющийся на кафедре, воспроизводимый на компьютере.

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача 7.5. В цикле Отто к рабочему телу подводится энергия в форме теплоты в количестве, численно равном (по абсолютной величине) работе адиабатного процесса сжатия. Температура начала процесса сжатия равна T_a . Объём в процессе сжатия уменьшается в 10 раз. В качестве рабочего тела используется воздух, показатель адиабаты которого $k = 1,4$. Определить термический КПД данного цикла и цикла Карно, в котором подвод теплоты происходит при температуре, равной максимальной температуре данного цикла, а отвод теплоты при температуре T_a .

Решение.

КПД цикла Отто

$$\eta_{\text{то}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{10^{1,4-1}} = 0,60.$$

По условию задачи и с учётом адиабатного процесса сжатия

$$q_1 = |l_{ac}| = \Delta u_{ac} = c_v (T_c - T_a). \quad \text{Так как } T_c = T_a \varepsilon^{k-1}, \text{ то}$$

$$q_1 = \Delta u_{ac} = c_v T_a (\varepsilon^{k-1} - 1).$$

Форма отчетности: отчёт по практическому занятию выполнить в соответствии с методическими указаниями «Оформление текстовых документов» [5] и включить в общий отчёт.

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется КПД циклов?
2. Из каких процессов состоит цикл?
3. Как рассчитать процессы цикла?

Практическое занятие №2. Расчёт элементов цикла Стирлинга.

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача. Определите КПД цикла Стирлинга, если температура холодильника 20°C , температура нагревателя 2800 K , степень сжатия 10. Сделайте выводы, сравнив его с КПД циклов Карно, Отто, Стирлинга.

Замечание. Обратный цикл стирлинга используется в криогенных установках.

Форма отчетности: отчёт по практическому занятию выполнить в соответствии с методическими указаниями «Оформление текстовых документов» [5] и включить в общий отчёт.

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется КПД циклов?
2. Из каких процессов состоит цикл?
3. Как рассчитать процессы цикла?

Практическое занятие №3. Расчёт элементов цикла ГТД

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача 9.4. При исходных данных задачи 9.3. определить удельную работу и термический КПД цикла ГТД с промежуточным охлаждением и регенерацией теплоты, но без промежуточного подвода теплоты.

Решение.

Численные значения удельной работы на привод одной ступени компрессора, температуры воздуха на выходе из ступени, суммарной удельной работы на привод компрессора такие же, как в задаче 9.3

$$\ell_{к1} = 73,1 \text{ кДж/кг}; \quad T_c = 360,7 \text{ К}; \quad \ell_k = 219,3 \text{ кДж/кг}.$$

Удельная работа газа в первой ступени турбины

$$\ell_{\tau_1} = \frac{k}{k-1} RT_z \left(1 - \frac{1}{\pi_{к1}^{\frac{k}{k-1}}} \right) = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287 \cdot 1300 \left(1 - \frac{1}{2,2^{\frac{1,4}{1,4}}} \right) = 263,4 \text{ кДж/кг}.$$

Температура газа на выходе из первой ступени турбины

$$T_{в'} = T_z - \frac{\ell_{\tau_1}}{c_p} = 1300 - \frac{263,4}{1,005} = 1038 \text{ К}.$$

Удельная работа газа во второй ступени турбины

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется КПД циклов?
2. Из каких процессов состоит цикл?
3. Как рассчитать процессы цикла?

Практическое занятие №4. Расчёт процессов двигателя с наддувом

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача 5.8. Производительность воздухооохладителя $V_ч = 10^5$ м³/ч при $p = 10^5$ Па, температуре $t_1 = 4^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\phi = 80\%$. По техническим условиям производства при прохождении через охладитель воздух должен охлаждаться до $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Определить количество теплоты, которое необходимо отвести от воздуха, и количество воды, выпадающей на поверхности охладителя.

Решение.

Давление насыщения пара в воздухе при $t_1 = 4^\circ\text{C}$ ($T_1 = 277\text{K}$)

$$p_{s1} = 10^{\left(10,95 - \frac{2224}{T_1}\right)} = 10^{\left(10,95 - \frac{2224}{277}\right)} = 834 \text{ Па.}$$

Парциальное давление пара на входе в охладитель

$$p_{n1} = \phi p_{s1} = 0,8 \cdot 834 = 667 \text{ Па.}$$

Влагосодержание на входе в охладитель

$$d_1 = \frac{0,622 \cdot p_{n1}}{(p - p_{n1})} = \frac{0,622 \cdot 667}{(10^5 - 667)} = 0,0042 \text{ кг}_n/\text{кг}_в.$$

Энтальпия влажного воздуха на входе

$$\begin{aligned} h_1 &= h_в + d_1 h_n = c_{пв} t_1 + d_1 (r + c_{пн} t_1) = \\ &= 1,0 \cdot 4 + 0,0042 \cdot (2500 + 1,97 \cdot 4) = 14,5 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Давление насыщенного пара на выходе при $t_2 = 0^\circ\text{C}$ ($T_2 = 273\text{K}$)

$$p_{s2} = 10^{\left(10,95 - \frac{2224}{T_2}\right)} = 10^{\left(10,95 - \frac{2224}{273}\right)} = 636 \text{ Па.}$$

Влагосодержание насыщенного воздуха на выходе при $t_2 = 0^\circ\text{C}$

$$d'_2 = \frac{0,622 \cdot p_{s2}}{(p - p_{s2})} = \frac{0,622 \cdot 636}{(10^5 - 636)} = 0,00398 \text{ кг}_n/\text{кг}_в.$$

Количество выпадающей воды, приходящейся на 1 кг сухого воздуха:

$$d_{\text{вод}} = d_1 - d'_2 = 0,0042 - 0,0038 = 0,00022 \text{ кг}_{\text{вод}}/\text{кг}_в.$$

Количество сухого воздуха, проходящего через охладитель:

$$G_в = \frac{p_в V_ч}{R_в T_1} = \frac{(p - p_n) V_ч}{R_в T_1} = \frac{(10^5 - 667) \cdot 10^5}{287 \cdot 277} = 125000 \text{ кг/ч.}$$

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется КПД циклов?
2. Из каких процессов состоит цикл?
3. Как рассчитать процессы цикла?

Практическое занятие №5. Идеальный компрессор

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача 8.2. Определить производительность G (кг/ч) трехступенчатого идеального компрессора ($m=3$), если затрачиваемая на его привод мощность составляет 3,5 кВт, а механический КПД $\eta_m=0,3$. В первую ступень воздух поступает при $p_1=0,1$ МПа, $t_1=15^\circ\text{C}$, давление воздуха на выходе из компрессора $p_2''=150$ кгс/см². Степень повышения давления в ступенях $\lambda_i = \text{idem}$, при промежуточном охлаждении температура воздуха понижается до начальной t_1 . Температура воздуха после сжатия в ступенях компрессора $t_2 = t_2' = t_2'' = 138^\circ\text{C}$.

Решение.

Степень повышения давления в ступенях

$$\lambda_i = \sqrt[3]{\frac{p_2''}{p_1}} = \sqrt[3]{\frac{150 \cdot 9,81 \cdot 10^4}{0,1 \cdot 10^6}} = 5,28.$$

Показатель политропы сжатия определяется из формулы соотношения параметров в политропном процессе в ступени компрессора

$$\frac{T_2}{T_1} = \lambda_1^{\frac{n-1}{n}}, \text{ после логарифмирования } \lg\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{n-1}{n} \lg \lambda_1, \text{ откуда}$$

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется КПД циклов?
2. Из каких процессов состоит цикл?
3. Как рассчитать процессы цикла?

Практическое занятие №6. Центробежный компрессор

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача 8.3. В одноступенчатом компрессоре с диаметром $D=40,8$ мм и ходом поршня $S=40,8$ мм сжимается воздух с начальными параметрами $p_1=0,1$ МПа и $t_1=27^\circ\text{C}$. На выходе из компрессора он имеет параметры $p_2=0,5$ МПа и $t_2=120^\circ\text{C}$. Расширение оставшегося во вредном объеме воздуха и сжатие осуществляются с одинаковыми показателями политропы ($n_2 = n_1 = n$). Определить объемный КПД η_0 и объем $V_{\text{вр}}$ вредного пространства, если при частоте вращения вала $n_k = 1800$ мин⁻¹ компрессор имеет производительность $G_q = 5$ кг/ч.

Решение.

Масса воздуха, поступающего в цилиндр за один цикл,

$$M_{\text{ц}} = \frac{G_q}{60n_k} = \frac{5}{60 \cdot 1800} = 4,63 \cdot 10^{-5} \text{ кг/цикл.}$$

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется КПД цикла?

2. Из каких процессов состоит цикл?
3. Как рассчитать процессы цикла?

Практическое занятие №7. Применение уравнений стационарной теплопроводности к аппаратам автомобиля.

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача 15.3. Теплопроизводительность подогревателя $Q_{\text{под}} = 283 \cdot 10^3$ кДж/ч. При температуре окружающей среды и агрегатов моторно-трансмиссионной установки $t_{\text{ос}} = t_{\text{агр}_1} = -30^\circ\text{C}$ необходимо подогреть агрегаты до $t_{\text{агр}_2} = 70^\circ\text{C}$. Суммарная теплоемкость обогреваемых агрегатов $C = 1257$ кДж/К, средний коэффициент теплоотдачи от наружных поверхностей агрегатов в окружающую среду $\alpha = 11,64$ Вт/(м²·К), площадь поверхностей $A = 15$ м². Определить время, необходимое для нагревания агрегатов.

Решение.

Количество теплоты, необходимое для нагревания агрегатов до

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется термическое сопротивление?
2. Из каких частей оно состоит?
3. Как рассчитать термическое сопротивление многослойной стенки?

Практическое занятие №8. Теплообменники автомобиля

Цель работы – получить навыки анализа состояния изучаемых циклов.

Порядок выполнения:

Задача 15.3. Теплопроизводительность подогревателя $Q_{\text{под}} = 283 \cdot 10^3$ кДж/ч. При температуре окружающей среды и агрегатов моторно-трансмиссионной установки $t_{\text{ос}} = t_{\text{агр}_1} = -30^\circ\text{C}$ необходимо подогреть агрегаты до $t_{\text{агр}_2} = 70^\circ\text{C}$. Суммарная теплоемкость обогреваемых агрегатов $C = 1257$ кДж/К, средний коэффициент теплоотдачи от наружных поверхностей агрегатов в окружающую среду $\alpha = 11,64$ Вт/(м²·К), площадь поверхностей $A = 15$ м². Определить время, необходимое для нагревания агрегатов.

Решение.

Количество теплоты, необходимое для нагревания агрегатов до

Основная литература [1,2].

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем определяется КПД циклов?
2. Из каких процессов состоит цикл?
3. Как рассчитать процессы цикла?

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>
1	2	3	4
Лк	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	
ПЗ	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	№1 ... №8
СР	Читальный зал №1	10-ПК i5-2500/Н67/4Gb(монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D; Учебная мебель	-

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

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-9	способность к участию в составе коллектива исполнителей в проведении исследования и моделирования транспортных и транспортно-технологических процессов и их элементов	1.Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом	1.1 Сравнение термодинамических циклов ДВС 1.2. Цикл Стирлинга как перспективный цикл автомобильного двигателя 1.3. Газотурбинный двигатель как составная часть двигателя с наддувом 1.4. Автомобильный двигатель с наддувом	экзаменационные вопросы 1.1-1.3
		2.Расчёт компрессоров автомобиля	2.1. Многоступенчатый идеальный компрессор 2.2. Компрессор как составная часть турбокомпрессора Многоступенчатый идеальный компрессор	экзаменационные вопросы 2.1-2.3
		3. Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля	3.1. Применение уравнений стационарной теплопроводности к аппаратам автомобиля. 3.2. Теплообменники автомобиля	экзаменационные вопросы 3.1-3.2

2. Экзаменационные вопросы (вопросы к зачету)

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ПК-9	способность к участию в составе коллектива исполните-	1.1. Цикл Отто. Применимость, процессы, параметры, КПД. 1.2. Циклы Дизеля и Тринклера.	1. Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с

	лей в проведении исследования и моделирования транспортных и транспортнотехнологических процессов и их элементов	<p>Применимость, процессы, параметры, КПД.</p> <p>1.3. Сравнение термодинамических циклов ДВС</p> <p>1.4. Цикл Стирлинга как перспективный цикл автомобильного двигателя</p> <p>1.5. Газовая турбина. Применимость, процессы, параметры, КПД.</p> <p>1.6. Газотурбинный двигатель как составная часть двигателя с наддувом</p> <p>1.7. Термодинамический цикл двигателя с наддувом.</p> <p>1.8. Автомобильный двигатель с наддувом</p> <p>1.9. Классификация двигателей с наддувом</p>	наддувом
		<p>2.1 Многоступенчатый идеальный компрессор</p> <p>2.2. Компрессор как составная часть турбокомпрессора</p> <p>2.3. Расчёт турбокомпрессора</p>	2. Расчёт компрессоров автомобиля
		<p>3.1. Применение уравнений стационарной теплопроводности к аппаратам автомобиля.</p> <p>3.2. Теплообменники автомобиля, их назначение.</p> <p>3.3. Расчёт радиатора</p> <p>3.4. Теплообменники автомобиля расчёт</p>	3. Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать: ПК-9 – законы термодинамики, действующие в теплотехнических устройствах автомобиля, термодинамические процессы и циклы, термодинамический анализ теплотехнических устройств; применения теплоты в отрасли;</p> <p>Уметь: ПК-9 – осуществлять теплотехнические измерения параметров ТИТ-ТМО; – использовать законы термодина-</p>	отлично	<p>Знает термодинамические процессы и циклы, теплотехнических устройств автомобиля.</p> <p>Умеет использовать законы термодинамики, действующие в теплотехнических устройствах.</p> <p>Владеет методами расчета основных термодинамических процессов, тепловых циклов двигателя и тепловых устройств автомобиля.</p>
	хорошо	<p>Знает основные особенности термодинамических процессов.</p> <p>Умеет решать некоторые задачи средней сложности по термодинамическим расчётам.</p> <p>Владеет основными навыками методами расчета основных термодинамических процессов</p>
	удовлетворительно	<p>Знает и может частично ответить на вопросы, затрагивающие суть теплотехнического состояния; испытывает трудности решения некоторых задач.</p> <p>Умеет выполнять простые задания о причинах</p>

<p>мики, действующие в теплотехнических устройствах автомобиля;</p> <p>Владеть: ПК-9 – методами расчета основных термодинамических процессов, тепловых циклов двигателей внутреннего сгорания и тепловых устройств автомобиля, анализа их эффективности по исходным данным.</p>		<p>изменения теплотехнических параметров состояния. Владеет некоторыми навыками теплотехнических расчётов.</p> <p>Знаком частично с параметрами термодинамических систем. Умеет выполнять элементарные операции по анализу систем. Не владеет навыками анализа термодинамических систем.</p>
	<p>неудовлетворительно</p>	

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности.

Дисциплина «Теплотехнические основы работы автомобильных агрегатов» направлена на получение теоретических знаний и практических навыков и умений для активного применения в повседневной жизни и профессиональной деятельности.

Изучение дисциплины «Теплотехнические основы работы автомобильных агрегатов» предусматривает:

- лекции
- выполнение практических занятий;
- экзамен;
- самостоятельную работу обучающихся.

В ходе освоения раздела 1 «Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом» студенты должны уяснить, что такое наддув и в какие достоинства и недостатки имеют двигатели с наддувом.

В разделе 2 «Расчёт компрессоров автомобиля» внимание следует обратить на термодинамический смысл этого устройства, часто входящего в состав автомобиля.

В разделе 3 «Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля» следует осознать, что теплообменники распространены и в автомобиле, и повсюду.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий с применением интерактивных форм (проектная деятельность). Внеаудиторная работа предполагает самостоятельную работу обучающихся на своих компьютерах с целью закрепления полученных на занятиях знаний, приобретения умений и навыков.

АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины

Теплотехнические основы работы автомобильных агрегатов

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является:

– дать будущим специалистам автомобильного транспорта необходимые знания о методах получения, преобразования, передачи и использования теплоты в автомобильных агрегатах 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.

Задачей изучения дисциплины является:

- формирование знаний теплотехнической терминологии, законов получения и преобразования энергии, методов анализа эффективности использования теплоты ;
- формирование знаний принципов действия, схем, областей применения и потенциальных возможностей основного теплотехнического и теплоэнергетического оборудования (двигатели с наддувом, радиаторы, отопители и др.);
- формирование 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 – 17 часов, практических занятий – 34 часа, самостоятельная работа обучающихся – 75 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 180 часа, 5 зачётных единиц.

2.2. Основные разделы дисциплины:

- 1 – Термодинамические основы работы автомобильных двигателей с наддувом
- 2 – Расчёт компрессоров автомобиля.
- 3 – Расчёт теплообменных аппаратов автомобиля

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-9: способность к участию в составе коллектива исполнителей в проведении исследования и моделирования транспортных и транспортно-технологических процессов и их элементов.

4. Вид промежуточной аттестации: экзамен.

*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)

И.о. заведующего кафедрой МиТ _____
(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 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «03» июля _____ 2018 г. № 413.

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «03» июля _____ 2018 г. № 413.

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «03» июля _____ 2018 г. № 413.

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «03» июля _____ 2018 г. № 413.

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 № _____