

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  
**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) Юнаков Л. П.  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Направление/специальность подготовки	24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Авиационная и ракетно-космическая теплотехника
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	6	3	108	51	34	0	17	57	0	0	57	зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.03.05 Двигатели летательных аппаратов**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА  
Шалимов Виталий Петрович, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ТЕОРИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-5 — способность использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники
ПСК-1.3 — способность выполнять расчеты параметров рабочего процесса, теплового состояния и характеристик двигателей и энергоустановок летательных аппаратов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-5**

*знания:*

на уровне представлений: приобретение студентом знаний в области конвективного теплообмена;

на уровне воспроизведения: описание моделей теплообмена, основные методы расчета задач теплоотдачи и теплопередачи,

на уровне понимания: изучить основные методы теплового расчета;;

*умения:*

теоретические: расчет теплоотдачи методами теории подобия

Практические: решать задачи с помощью критериальных уравнений;

*навыки:*

постановки и решения практических задач; использования расчетных зависимостей для определения температурных полей и тепловых потоков;;

### **ПСК-1.3**

*знания:*

Теория подобия, критерии, критериальные уравнения. Основные (простые) виды теплообмена;

*умения:*

Составлять критериальные уравнения. Выявлять критерии подобия.;

*навыки:*

Расчет температурных полей и тепловых потоков методом решения критериальных уравнений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕОРИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники
- ПСК-1.1 — Способен использовать знания фундаментальных разделов естественнонаучного и профессионального циклов для понимания физической сущности рабочих процессов энергетических установок авиационной и ракетно-космической техники

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-5	ПСК-1.3
3	6	Раздел 1. Введение. Модель пограничного слоя. 1.1. Поля скоростей и температуры. 1.2. Граничные условия полей.	6	1	1	0	5	10	10
3	6	Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача. 2.1. Математическая модель и критерии подобия. 2.2. Критериальные уравнения теплоотдачи.	11	4	2	2	7	10	10
3	6	Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя. 3.1. Уравнения Прандтля. Интеграл Крокко. 3.2. Аналогия Рейнольдса трения и теплообмена.	12	6	4	2	6	15	15
3	6	Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля. 4.1. Обобщённая координата и функция тока. 4.2. Интенсивность трения на пластине.	13	7	4	3	6	15	10
3	6	Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя. 5.1. Интенсивность теплоотдачи на пластине. 5.2. Локальный и осреднённый коэффициенты теплоотдачи.	13	7	5	2	6	10	15
3	6	Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел. 6.1. Пограничный слой на поверхности клина. 6.2. Теплоотдача тел различной формы.	12	6	4	2	6	10	10
3	6	Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции. 7.1. Теплоотдача вертикальной поверхности. 7.2. Теплоотдача на поверхности труб.	16	8	6	2	8	10	10
3	6	Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока. 8.1. Особенности полей скоростей и температур в пограничном слое высокоскоростного потока. 8.2. Уравнения пограничного слоя в переменных Доронидзе. 8.3. Расчёт интенсивности теплообмена с учётом сжимаемости среды.	14	6	4	2	8	10	10
3	6	Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое. 9.1. Понятие и определение турбулентных коэффициентов переноса. 9.2. Уравнения турбулентного пограничного слоя. 9.3. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.	11	6	4	2	5	10	10
Всего за 6 семестр			108	51	34	17	57	100	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.	Решение задач стационарной теплоотдачи в элементах конструкции энергетических систем.	2
2	Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя.	Формирование граничных условий различного рода при решении задач теплоотдачи в элементах конструкции энергетических систем.	2
3	Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.	Решение задач на расчёт трения и потери давления в потоках в элементах конструкции энергетических систем.	3
4	Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя.	Решение задач на расчёт теплоотдачи в потоках в элементах конструкции энергетических систем.	2
5	Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел.	Решение задач на расчёт теплоотдачи в потоках в элементах конструкции энергетических систем.	2
6	Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции.	Решение задач на расчёт теплоотдачи свободной конвекцией в элементах конструкции энергетических систем.	2
7	Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока.	Расчёт тепловой нагрузки на поверхность спускаемого аппарата в зависимости от условий спуска.	2
8	Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.	Расчёт тепловой нагрузки на поверхность преграды, взаимодействующей с потоком высокотемпературного газа.	2
Всего за 6 семестр			17

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение. Модель пограничного слоя.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	5
2	Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	7
3	Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	6
4	Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	6
5	Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	6
6	Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел.	Подготовка к экзамену	6
7	Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	8
8	Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока.	Подготовка к экзамену	8
9	Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.	Подготовка к экзамену	5
Всего за 6 семестр			57

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6			ТекК		ТекК, ДЗ	ДР			ТекК, ДЗ	ДР		ТекК, ДЗ			ТекК, ДЗ	ДР	зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- ДЗ – домашнее задание;
- зач. – зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- домашнее задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Александров, А. М. Архаров, И. А. Архаров. . Теплотехника. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, эл. рес.
2. А. А. Александров, А. М. Архаров, И. А. Архаров. . Теплотехника. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, 22 экз.
3. В. В. Сахин. . Термодинамика энергетических систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
4. В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, эл. рес.
5. В. В. Сахин. Термодинамика энергетических систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, 257 экз.
6. В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 173 экз.
7. В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
8. В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 76 экз.
9. В. В. Сахин, В. П. Шалимов. . Теплопередача. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, эл. рес.
10. В. В. Сахин, В. П. Шалимов. . Теплопередача. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, 114 экз.
11. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, Н. А. Брыков. . Теплопередача в примерах и задачах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 84 экз.
12. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, Н. А. Брыков. . Теплопередача в примерах и задачах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, эл. рес.
13. С. И. Исаев, И. А. Кожинов, В. И. Кофанов. Теория тепломассообмена. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. Б. Н. Юдаев. . Теплопередача. М.: Высш. шк., 1981, 1 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Вестник академии военных наук.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;;
2. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
3. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — Библиотечно-издательский центр БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

#### 5.5. Программное обеспечение:

1. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
2. Google Chrome;
3. Matlab 2015a SP1;
4. Microsoft Office.

#### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
3. Google Chrome;
4. Matlab 2015a SP1;
5. Microsoft Office.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ТЕОРИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-5 способность использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники;

ПСК-1.3 способность выполнять расчеты параметров рабочего процесса, теплового состояния и характеристик двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с теоретическими основами и физической сущностью основных процессов теплообмена, методами их анализа, исследованиями и расчётами параметров, освоением путей интенсификации теплообмена элементов энергетических установок.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- домашнее задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Введение. Модель пограничного слоя.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	<p>В. В. Сахин. . Термодинамика энергетических систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (1-3)</p> <p>В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, Н. А. Брыков. . Теплопередача в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1-2)</p> <p>Б. Н. Юдаев. . Теплопередача: М.: Высш. шк., 1981 (1)</p> <p>В. В. Сахин, В. П. Шалимов. . Теплопередача: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (1)</p> <p>В. В. Сахин, В. П. Шалимов. . Теплопередача: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (1)</p> <p>С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов. Теория теплообмена: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018 (введение)</p> <p>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1)</p> <p>В. В. Сахин. Термодинамика энергетических систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (1-3)</p> <p>В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, Н. А. Брыков. . Теплопередача в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1-2)</p> <p>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (введение, 1)</p> <p>А. А. Александров, А. М. Архаров, И. А. Архаров. . Теплотехника: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (2)</p> <p>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (введение)</p> <p>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной</p>	5

	среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1) А. А. Александров, А. М. Архаров, И. А. Архаров. . Теплотехника: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (2)	
Итого по разделу 1		5
<b>Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2) С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов. Теория теплообмена: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018 (1)	7
Итого по разделу 2		7
<b>Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2-3) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2-3) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)	6
Итого по разделу 3		6
<b>Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)	6
Итого по разделу 4		6
<b>Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ	6

	"ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2)	
Итого по разделу 5		6
<b>Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел.</b>		
Подготовка к экзамену	В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4) В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, Н. А. Брыков. . Теплопередача в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1-3)	6
Итого по разделу 6		6
<b>Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3) В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3)	8
Итого по разделу 7		8
<b>Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока.</b>		
Подготовка к экзамену	В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (6) С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов. Теория тепломассообмена: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018 (1-3) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (6)	8
Итого по разделу 8		8
<b>Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.</b>		
Подготовка к экзамену	В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4-5) В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4-5) С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов. Теория тепломассообмена: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018 (2-3)	5
Итого по разделу 9		5

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- домашнее задание;
- зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы для текущего контроля

Текущий контроль (ТК) с использованием тестовых заданий и вопросов. Вопросы для текущего контроля входят в состав УМК дисциплины. В тестировании используется 10 вопросов по разделам дисциплины. Оценка усвоения дисциплины проводится по 100 бальной шкале:

- рейтинг теста меньше 30 баллов (ответ на 5 и менее вопросов) – ТК не сдан,
- рейтинг теста от 30 до 60 баллов (ответ на 6 вопросов) – дополнительное собеседование (2 вопроса), при положительных ответах ТК сдан;
- рейтинг теста от 60 до 100 баллов (ответ на 7 и более вопросов) – ТК сдан.

#### Домашнее задание

Пояснительная записка к домашнему заданию представляется в печатной форме с использованием редактора Word (приложение 4).

Критерии оценивания (в 10-и балльной системе):

- правильный расчёт, оформление результатов в соответствии с требованиями и их защита – 10 баллов, основаниями для снижения количества баллов в диапазоне от 5 до 2 являются:
- неуверенная защита результатов расчёта;
- неполный или отсутствующий перечень предложений по содержанию задания;
- небрежное выполнение пояснительной записки,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба графиков, отсутствие указания единиц измерения на графиках).

Требования к защите ДЗ: Защита ДЗ осуществляется на уровне собеседования с преподавателем в свободной форме “вопрос - ответ”. Перечень контрольных вопросов прилагается к заданию [1].

Вес контрольных этапов выполнения ДЗ:

- активность и самостоятельность в ходе выполнения ДЗ – 25%;
- оформление пояснительной записки к ДЗ – 15%;
- своевременное выполнение ДЗ по графику контрольных мероприятий – 20%;
- уровень защиты результатов, ответов на контрольные вопросы – 50%.

При наборе выше 75% домашнее задание считается выполненным.

### Зачет

Итоговый контроль по дисциплине проходит в форме зачета при условии полного выполнения всех мероприятий, предусмотренных графиком контрольных мероприятий. Зачет проводится в форме ответов на 2 вопроса экзаменационного билета. Комплект билетов входит в состав УМК дисциплины. Итоги сдачи зачета оцениваются следующим образом:

- полный правильный ответ на оба вопроса – зачтено;
- полный правильный ответ на один из вопросов с дополнительным собеседованием по второму – зачтено;
- неполные ответы на оба вопроса с дополнительным собеседованием по их тематике – зачтено;
- неправильные ответы и не готовность к собеседованию по темам билета – не зачтено.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-5	ПСК-1.3	
3	6	Раздел 1. Введение. Модель пограничного слоя.	6	1	1	0	5	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.	11	4	2	2	7	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя.	12	6	4	2	6	15	15	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.	13	7	4	3	6	15	10	Вопросы для текущего контроля, Домашнее задание
3	6	Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя.	13	7	5	2	6	10	15	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел.	12	6	4	2	6	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции.	16	8	6	2	8	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока.	14	6	4	2	8	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.	11	6	4	2	5	10	10	Вопросы для текущего контроля
Всего за 6 семестр			108	51	34	17	57	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-5

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Какой критерий характеризует свободную (естественную) конвекцию в подвижной среде?
- № 2 Чем отличается конвективная теплоотдача с поверхности теплообмена в безграничный поток подвижной среды от теплоотдачи при движении жидкости в трубах и каналах?
- № 3 Чем отличаются по своей структуре (по содержанию) критериальные уравнения теплоотдачи в ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости относительно поверхности теплообмена?
- № 4 Какие виды теплообмена в общем виде включает в себя процесс теплопередачи?
- № 5 Что в термодинамике подразумевают под термином "Энергия"?
- № 6 Что своей величиной характеризует удельная газовая постоянная  $R$ ?
- № 7 Что своей величиной характеризует показатель адиабаты газа?
- № 8 Какой процесс наиболее предпочтителен для нагрева газа с минимальным расходом энергии?
- № 9 Что надо знать, чтобы определить характер политропного процесса?
- № 10 Для каких целей практикуется оребрение поверхности теплоотдачи?
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Верно ли, что процессы теплообмена подразделяют на 4 элементарных вида?
- Нет, выделяют всего 2 элементарных вида теплообмена.
- Теплообмен вообще не разделяют на элементарные процессы.
- Выделяют 3 вида теплообмена.
- № 2 Да, процессы теплообмена подразделяют на 4 элементарных вида.
- Осуществляется ли теплопроводность переносом теплоты молями вещества?
- Да, молями; без переноса массы.
- Нет, на элементарном уровне молекулярной структуры.
- Флюидами теплорода.
- Квантами энергии.
- № 3 Является ли изобарный процесс наиболее работоспособным из перечня политропных процессов?
- Да, это наиболее работоспособный процесс из перечня политропных процессов.
- Нет, по работоспособности он не является таковым, уступая только адиабатному процессу.
- Нет, наиболее работоспособным из перечня политропных процессов является изотермический процесс.
- № 4 Изобарный процесс вообще не совершает работу.
- Конвекция теплоты – это процесс переноса теплоты на уровне молекулярной структуры вещества?
- Да, осуществляется на уровне колебаний молекулярной структуры.
- Нет, это перенос теплоты при движении массы вещества.
- Процесс в природе не встречается.
- № 5 Это перенос теплоты квантами энергии.
- Существуют ли какие-либо особенности при проектировании теплоизоляции труб?

- Нет, никаких особенностей при проектировании теплоизоляции труб нет.
- Да, при нанесении тепловой изоляции на трубу существует критерий по критическому диаметру изоляции, его величина должна быть больше диаметра трубы.
- При проектировании стремятся к минимальной толщине слоя теплоизоляции на трубе.
- Да, при нанесении тепловой изоляции на трубу существует критерий по критическому диаметру изоляции, его величина должна быть меньше диаметра трубы.
- № 6 Можно ли повысить теплоотдачу при движении жидкости в трубе путём увеличения диаметра этой трубы?
- Да, это один из вариантов повышения интенсивности теплоотдачи, причём при этом гидравлическое сопротивление на прокачку жидкости по трубе уменьшается.
- Теплоотдача жидкости в трубе не зависит от диаметра этой трубы.
- Нет, при этом интенсивность теплоотдачи будет уменьшаться.
- Теплоотдача жидкости в трубе не реализуется.
- № 7 Верно ли, что выделяют всего лишь две формы передачи энергии?
- Нет, форм передачи энергии много, например, механическая, электрическая, химическая и. т.п.
- Да, это теплота и работа.
- Энергообмен не подразделяют на какие-либо формы.
- Нет, выделяют 3 формы энергообмена: теплота, механическая работа и немеханическая работа.
- № 8 Верно ли, что для характеристики состояния рабочего тела простой ТДС нужны всего лишь 2 параметра?
- Нет, таковых должно быть три параметра, например, давление, температура и удельный объём.
- Кроме 3-х термических параметров должен быть известен хотя бы один калорический параметр, например,  $p$ ,  $T$ ,  $v$  и  $u$  – внутренняя энергия.
- Да, третий необходимый параметр может быть рассчитан с использованием 2-х заданных.
- Для простой ТДС нужен всего лишь один параметр состояния.
- № 9 Являются ли названные функции состояний ТДС (теплота, работа, энтальпия) термодинамическими?
- Да, все названные функции состояний ТДС термодинамические.
- Нет, термодинамическими функциями из перечисленных являются теплота и энтальпия.
- Нет, термодинамическими функциями из перечисленных являются работа и энтальпия.
- № 10 Нет, термодинамической функцией из перечисленных является только энтальпия. Можно ли отнести рабочий процесс газа с переменной теплоёмкостью к политропным процессам?
- Да, это возможно, если процесс равновесный.

Да, ограничения на политропность процессов не содержат условия их теплоёмкости.

Нет, теплоёмкость политропных процессов должна быть неизменной.

В термодинамике теплоёмкость политропных процессов вообще не рассматривается.

### ПСК-1.3

#### *Вопросы открытого типа:*

- № 1 Теплоотдача является сложным видом теплообмена?
- № 2 Физический смысл числа Рейнольдса?
- № 3 Физический смысл числа Грасгофа?
- № 4 Турбулентное течение это
- № 5 Ламинарное течение это
- № 6 Какие главные ограничения накладываются при использовании критериального уравнения
- № 7 Что такое вязкостный режим течения по трубе?
- № 8 Что такое вязкостно-гравитационный режим течения по трубе?
- № 9 Как меняется толщина гидродинамического пограничного слоя вниз по течению?
- № 10 Как меняется толщина теплового пограничного слоя вниз по течению?

#### *Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Теплоотдача состоит из следующих простых видов:
  - Теплопроводность и теплоизлучение
  - Теплоизлучение и конвекция
  - Конвекция, теплопроводность и теплоизлучение
- № 2 Теплопроводность и конвекция
  - В каком случае процесс охлаждения/нагрева поверхности будет более интенсивным:
    - Теплоотдача при свободной конвекции
    - Теплоотдача при вынужденной конвекции
    - Теплоотдача при неподвижной среде
- № 3 Во всех перечисленных случаях нагрев/охлаждение одинаково
  - Турбулентная вязкость обусловлена:
    - Хаотическим движением молекул
    - Хаотическим движением турбулентных молекул
    - Шероховатостью обтекаемой поверхности
- № 4 Хаотическими движениями молекул и турбулентных молекул
  - Ламинарная вязкость обусловлена:
    - Хаотическим движением молекул
    - Хаотическим движением турбулентных молекул
    - Шероховатостью обтекаемой поверхности
- № 5 Хаотическими движениями молекул и турбулентных молекул
  - Метод подобия (теория подобия) это:
    - Теоретический метод
    - Экспериментальный метод

- Полуэмпирический метод
- Численный метод
- № 6 Гидродинамический пограничный слой это:
- Пристеночный слой, в котором газ покоится
- Пристеночный слой, в котором газ движется с постоянной скоростью
- Пристенный слой, в котором газ тормозится
- Пристенный слой, в котором скорость газа меняется от нуля до скорости невозмущенного потока
- № 7 Тепловой пограничный слой это:
- Пристеночный слой, в котором температура газа постоянна
- Пристеночный слой, в котором температура газа монотонно возрастает
- Пристеночный слой, в котором температура газа монотонно убывает
- Пристенный слой, в котором температура газа меняется от температуры стенки до температуры невозмущенного потока
- № 8 В каком случае процесс охлаждения/нагрева поверхности будет более интенсивным:
- Теплоотдача при турбулентном обтекании поверхности
- Теплоотдача при ламинарном обтекании поверхности
- Во всех перечисленных случаях нагрев/охлаждение одинаково
- При неподвижной среде около поверхности
- № 9 Коэффициент теплоотдачи зависит от:
- формы и шероховатости обтекаемой газом поверхности
- площади поверхности
- разности температур газа и поверхности
- режима и скорости течения в пристенном слое
- № 10 При каком допущении выполняется условие малости толщины пограничного слоя по сравнению с размерами обтекаемого тела?
- Течение невязкое
- Течение несжимаемое
- Число  $Re$  стремится к нулю
- Число  $Re$  стремится к бесконечности