

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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<br>(ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) |                    |        |                           |                         |                        |                 |                 |                               | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО<br>КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |         |   | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ              | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ |        |                           |                         | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА |                 |                 |                               |                                |
|      |         |   |                                 | ВСЕГО              | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ<br>ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ<br>ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО                  | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ<br>САМОСТ. РАБОТЫ |                                |
| 3    | 6       | 3                                       | 108                             | 68                 | 34     | 0                         | 34                      | 40                     | 0               | 0               | 40                            | 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: 2025

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 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники

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:*

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

## 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
- ПК-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                      |
| 3                   | 6       | Раздел 1. Введение. Модель пограничного слоя. 1.1. Поля скоростей и температуры. 1.2. Граничные условия полей.  | 5     | 2                                     | 1      | 1                    | 3                                | 10                         |
| 3                   | 6       | Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача. 2.1. Математическая модель и критерии подобия. 2.2. Критериальные уравнения теплоотдачи.  | 11    | 6                                     | 2      | 4                    | 5                                | 10                         |
| 3                   | 6       | Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя. 3.1. Уравнения Прандтля. Интеграл Крокко. 3.2. Аналогия Рейнольдса трения и теплообмена.   | 12    | 8                                     | 4      | 4                    | 4                                | 15                         |
| 3                   | 6       | Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля. 4.1. Обобщённая координата и функция тока. 4.2. Интенсивность трения на пластине.  | 14    | 10                                    | 4      | 6                    | 4                                | 15                         |
| 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    | 9                                     | 5      | 4                    | 4                                | 10                         |
| 3                   | 6       | Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел. 6.1. Пограничный слой на поверхности клина. 6.2. Теплоотдача тел различной формы.  | 12    | 8                                     | 4      | 4                    | 4                                | 10                         |
| 3                   | 6       | Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции. 7.1. Теплоотдача вертикальной поверхности. 7.2. Теплоотдача на поверхности труб.   | 14    | 9                                     | 6      | 3                    | 5                                | 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 Дородницина. 8.3. Расчёт интенсивности теплообмена с учётом сжимаемости среды. | 12    | 8                                     | 4      | 4                    | 4                                | 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.  | 15    | 8                                     | 4      | 4                    | 7                                | 10                         |
| Всего за 6 семестр  |         |   | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |
| Всего по дисциплине |         |   | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |

#### 3.2. Аудиторный практикум

| № п/п              | Номер и наименование раздела дисциплины                                | Тема практического занятия  | Объем, ауд. часов |
|--------------------|--|---|-------------------|
| 1                  | Раздел 1. Введение. Модель пограничного слоя.                          | Модель пограничного слоя  | 1                 |
| 2                  | Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.                              | Решение задач стационарной теплоотдачи в элементах конструкции энергетических систем.                                       | 4                 |
| 3                  | Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя.                     | Формирование граничных условий различного рода при решении задач теплоотдачи в элементах конструкции энергетических систем. | 4                 |
| 4                  | Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.                         | Решение задач на расчёт трения и потери давления в потоках в элементах конструкции энергетических систем.                   | 6                 |
| 5                  | Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя. | Решение задач на расчёт теплоотдачи в потоках в элементах конструкции энергетических систем.                                | 4                 |
| 6                  | Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел.                               | Решение задач на расчёт теплоотдачи в потоках в элементах конструкции энергетических систем.                                | 4                 |
| 7                  | Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции.                         | Решение задач на расчёт теплоотдачи свободной конвекцией в элементах конструкции энергетических систем.                     | 3                 |
| 8                  | Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока.                        | Расчёт тепловой нагрузки на поверхность спускаемого аппарата в зависимости от условий спуска.                               | 4                 |
| 9                  | Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.                 | Расчёт тепловой нагрузки на поверхность преграды, взаимодействующей с потоком высокотемпературного газа.                    | 4                 |
| Всего за 6 семестр |  |   | 34                |

### 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 | 3            |
| 2                         | Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.                              | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям | 5            |
| 3                         | Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя.                     | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям | 4            |
| 4                         | Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.                         | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям | 4            |
| 5                         | Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям | 4            |
| 6                         | Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел.                               | Подготовка к экзамену  | 4            |
| 7                         | Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции.                         | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям | 5            |
| 8                         | Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока.                        | Подготовка к экзамену  | 4            |
| 9                         | Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.                 | Подготовка к экзамену  | 7            |
| <b>Всего за 6 семестр</b> |  |  | <b>40</b>    |

## 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   |
| <b>6</b> |                 |   | ТекК |   | ТекК, ДЗ | ДР |   |   | ТекК | ДР |    | ТекК |    | ДЗ | ТекК | 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, 22 экз.
2. А. А. Александров, А. М. Архаров, И. А. Архаров. . Теплотехника. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, эл. рес.
3. В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 76 экз.
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, эл. рес.
7. В. В. Сахин. . Термодинамика энергетических систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
8. В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 173 экз.
9. В. В. Сахин, В. П. Шалимов. . Теплопередача. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, 114 экз.
10. В. В. Сахин, В. П. Шалимов. . Теплопередача. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, эл. рес.
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. Кожин, 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. Matlab 2015a SP1;
3. Microsoft Office;
4. Google Chrome.

#### 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. Matlab 2015a SP1;
4. Microsoft Office;
5. Google Chrome.

### **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 Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники.

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 (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 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. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (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, В. П. Шалимов. . Теплопередача: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (1)</p> <p>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1)</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. 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>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, В. П. Шалимов. . Теплопередача: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (1)</p> <p>В. В. Сахин. . Термодинамика энергетических систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (1-3)</p> <p>Б. Н. Юдаев. . Теплопередача: М.: Высш. шк., 1981 (1)</p> <p>С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов. Теория тепломассообмена: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018</p> | 3                  |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | (введение)<br>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (введение, 1)  |   |
| Итого по разделу 1   |   | 3 |
| <b>Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.</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)<br>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2)<br>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2)<br>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2)<br>С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов. Теория теплообмена: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018 (1) | 5 |
| Итого по разделу 2   |   | 5 |
| <b>Раздел 3. Математическая модель 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 (2-3)<br>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2-3)<br>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)<br>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)  | 4 |
| Итого по разделу 3   |   | 4 |
| <b>Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.</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)<br>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)<br>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2)<br>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2)<br>В. В. Сахин. . Конвективный теплообмен в однородной среде (теплоотдача): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)         | 4 |
| Итого по разделу 4   |   | 4 |
| <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)<br>В. В. Сахин. . Теплообмен в однородной среде (теплопередача): СПб.БГТУ   | 4 |

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

## 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. Комплект вопросов 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 вопросов – 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                      |   |
| 3                   | 6       | Раздел 1. Введение. Модель пограничного слоя.                          | 5     | 2                                     | 1      | 1                    | 3                                | 10                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| 3                   | 6       | Раздел 2. Теплоотдача как краевая задача.                              | 11    | 6                                     | 2      | 4                    | 5                                | 10                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| 3                   | 6       | Раздел 3. Математическая модель пограничного слоя.                     | 12    | 8                                     | 4      | 4                    | 4                                | 15                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| 3                   | 6       | Раздел 4. Решение Блазиуса уравнений Прандтля.                         | 14    | 10                                    | 4      | 6                    | 4                                | 15                         | Вопросы для текущего контроля, Домашнее задание |
| 3                   | 6       | Раздел 5. Решение Польгаузена уравнения энергии для пограничного слоя. | 13    | 9                                     | 5      | 4                    | 4                                | 10                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| 3                   | 6       | Раздел 6. Теплоотдача при обтекании тел.                               | 12    | 8                                     | 4      | 4                    | 4                                | 10                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| 3                   | 6       | Раздел 7. Теплоотдача при свободной конвекции.                         | 14    | 9                                     | 6      | 3                    | 5                                | 10                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| 3                   | 6       | Раздел 8. Теплоотдача высокоскоростного потока.                        | 12    | 8                                     | 4      | 4                    | 4                                | 10                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| 3                   | 6       | Раздел 9. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое.                 | 15    | 8                                     | 4      | 4                    | 7                                | 10                         | Вопросы для текущего контроля                   |
| Всего за 6 семестр  |         |  | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |   |
| Всего по дисциплине |         |  | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 100                        |   |



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

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Дать определение теплоотдачи

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Почему теплопроводность металлов больше, чем теплопроводность диэлектриков?

№ 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

При какой конвекции теплоотдача больше – при свободной или вынужденной?

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Перед вами определения трёх основных видов теплообмена. К каждому понятию, данной в левом столбце, подберите соответствующее определение из правого столбца.

- |                     |   |
|---------------------|---|
| 1. Теплопроводность | А. Передача энергии из более нагретой области среды в менее нагретую        |
| 2. Конвекция        | Б. Передача энергии при излучении и поглощении электромагнитных волн телами |
| 3. Теплоизлучение   | В. Передача энергии при столкновении и колебании микрочастиц вещества       |
|                     | Г. Передача энергии при перемещении и перемешивании текучей среды           |
|                     | Д. Передача энергии от твёрдой поверхности к текучей среде                  |

№ 5 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

теплоотдача - это:

1. простой вид теплообмена между твёрдой поверхностью и текучей средой
2. простой вид теплообмена между двумя твёрдыми телами
3. простой вид теплообмена между двумя текучими средами
4. сложный вид теплообмена между твёрдой поверхностью и текучей средой
5. сложный вид теплообмена между двумя твёрдыми телами

№ 6 Прочитайте текст и установите соответствие

Перед вами варианты конфигураций различных тел, в которых рассматривается теплопроводность. К каждой конфигурации тела (левый столбец таблицы) поставьте в соответствие характер изменения плотности теплового потока в данном теле (правый столбец таблицы).

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| 1. Плоская стенка        | А. Плотность теплового потока не изменяется                          |
| 2. Цилиндрическая стенка | Б. Плотность теплового потока изменяется по линейному закону         |
| 3. Длинный стержень      | В. Плотность теплового потока изменяется по логарифмическому закону  |
|                          | Г. Плотность теплового потока изменяется по квадратичному закону     |
|                          | Д. Плотность теплового потока изменяется по экспоненциальному закону |

№ 7 Прочитайте текст и установите последовательность

Вам необходимо рассчитать коэффициент теплоотдачи по заданному критериальному уравнению, связывающее число Нусельта с числом Рейнольдса. Установите последовательность ваших вычислений

1. Рассчитать число Рейнольдса в вашей задаче
2. Зная число Нуссельта, вычислить коэффициент теплоотдачи
3. Убедиться в том, что число Рейнольдса вашей задачи входит в диапазон чисел Рейнольдса критериального уравнения
4. Подставить число Рейнольдса вашей задачи в критериальное уравнение и определить число Нуссельта

№ 8 Прочитайте текст и установите последовательность

При выводе дифференциального уравнения Фурье-Кирхгофа необходимо придерживаться следующей последовательности действий:

1. провести преобразования алгебраической записи закона с целью получения формулы для скорости изменения температуры в точке пространства
2. определить закон, на основе которого выводится уравнение
3. сформулировать допущения
4. выбрать объект, к которому применяется закон
5. сформулировать закон для данного объекта и при сделанных допущениях

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Свободная конвекция это передача энергии при перемещении текучей среды под действием:

1. электромагнитных сил
2. гравитационных сил
3. разности весов нагретых и холодных областей среды
4. сил поверхностного натяжения
5. капиллярных сил
6. сил вязкого трения

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Плотность теплового потока - это:

1. количество теплоты, которым обмениваются тела при теплообмене
2. количество теплоты, которым обмениваются тела при теплообмене за единицу времени
3. количество теплоты, которым обмениваются тела при теплообмене через единицу поверхности
4. количество теплоты, которым обмениваются тела при теплообмене при единичной разности температур
5. количество теплоты, которым обмениваются тела при теплообмене за единицу времени через единицу поверхности
6. количество теплоты, которым обмениваются тела при теплообмене за единицу времени при единичной разности температур

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Характерными параметрами при определении числа Грасгофа являются:

1. ускорение свободного падения, характерный размер тела, кинематическая вязкость
2. температура среды, характерный размер тела

3. скорость течения, давление

4. разность температур в среде

5. поверхностное натяжение жидкости

6. ускорение свободного падения, характерный размер тела, кинематическая вязкость, температура среды, характерный размер тела

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Теплопроводность - это

1. сложный вид теплообмена

2. простой вид теплообмена

3. вид теплообмена обусловленный столкновением микрочастиц

4. вид теплообмена обусловленный хаотическими колебаниями микрочастиц

5. вид теплообмена обусловленный хаотическими переходами электронов между орбитами в атоме

№ 13 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

теплоотдача это:

1. простой вид теплообмена

2. сложный вид теплообмена

3. вид теплообмена, состоящий из теплопроводности и конвекции

4. теплообмен между твердой стенкой и текучей средой

5. вид теплообмена между твердыми телами

6. вид теплообмена между текучими средами