

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор  
Н.К. Криони  
“ 23 ” марта 2017 г.



**ПРОГРАММА**

вступительных испытаний по специальной дисциплине  
при приеме на обучение по образовательным программам высшего  
образования – программам подготовки научно-педагогических  
кадров в аспирантуре

Направление подготовки

**24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника**

Уфа 2017

## ПРОГРАММА

вступительных испытаний по специальной дисциплине  
при приеме на обучение по образовательным программам высшего  
образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в  
аспирантуре по направлению подготовки 24.06.01 Авиационная и ракетно-  
космическая техника

### **Направленность (профиль) программы аспирантуры: 05.07.05.** **Тепловые электроракетные двигатели и энергоустановки летательных** **аппаратов**

Назначение лопаточных машин (ЛМ) в ГТД различных типов. Требования, предъявляемые к авиационным ЛМ. Классификация ЛМ.

Принципы построения математического аппарата и исходные уравнения. Модели течений в турбомашинах.

Уравнение для неподвижного жидкого объема. Уравнение неразрывности.

Уравнение момента количества движения. Формула Эйлера.

Уравнение сохранения энергии. Обобщенное уравнение Бернулли.

Основные уравнения для отдельных частей элементарной ступени ЛМ, Классификация потерь в ступени ЛМ.

Основные сведения из теории подобия и размерностей. Критерия подобия процессов в ЛМ. Подобие тепловых процессов.

8 Процесс сжатия в компрессоре. P-V, T-S, I-S - диаграммы. Сжатие с отводом тепла.

Процесс расширения в турбине. P-V, T-S, I-S - диаграммы. Расширение с отводом и подводом тепла.

Учет потерь в элементах проточной части ЛМ. КПД компрессора. КПД турбины. Связь между КПД многоступенчатой ЛМ и ее отдельных ступеней.

Осевые компрессоры. Основные параметры ступени (геометрические, кинематические, газодинамические). Влияние основных кинематических параметров на напор ступени.

Характеристики компрессорных решеток. Изменение параметров потока по радиусу лопаточного венца.

Многоступенчатые компрессоры. Распределение работы и особенности работы первой и последней ступеней.

Центробежные компрессоры. Основные элементы и особенности рабочего процесса компрессора. Потери в РК. Безлопаточный диффузор. Лопаточный диффузор.

Осевые турбины. Основные параметры элементарной ступени (кинематические, газодинамические, степень реактивности, коэффициенты работы и расхода).

Типы элементарных ступеней в зависимости от степени реактивности.

Влияние основных параметров на теоретическую работу элементарной ступени (кинематические, термодинамические).

КПД элементарной ступени.

19 Многоступенчатые турбины. Распределение работы. КПД турбины.

Типы характеристик компрессоров. Основные закономерности характеристик и их экспериментальное исследование.

Характеристики ступени и многоступенчатого компрессора.

Основы расчета и получения характеристик.

Предмет и задачи курса Теории ВРД. Классификация реактивных двигателей.

Основные типы и принцип действия ВРД. Удельные параметры ВРД.

ВРД как тепловая машина. Идеальный цикл ВРД. Действительный цикл ВРД.  
Зависимость работы и КПД цикла от параметров цикла.  
Пути увеличения работы и КПД цикла.  
Работа ВРД как движителя. Тяга и мощность ВРД.  
Полетный (тяговый) КПД двигателя. Полный КПД. Взаимосвязь КПД ВРД.  
Экономичность ВРД и ее показатели. Факторы, влияющие на экономичность.  
Энергетический баланс ВРД. Сравнение КПД реактивных двигателей различных типов.  
30 Требования, предъявляемые к входным устройствам.  
Показатели, характеризующие работу входного устройства (коэффициент сохранения полного давления, коэффициент расхода, коэффициент внешнего сопротивления, неравномерность поля скоростей на выходе). Форма проточной части.  
Входные устройства для дозвуковых и небольших сверхзвуковых скоростей.  
Входные устройства для сверхзвуковых скоростей полета, их классификация.  
Входные устройства внешнего сжатия.  
Особенности работы входных устройств внутреннего и смешанного сжатия.  
Неустойчивая работа входного устройства.  
Способы регулирования сверхзвуковых входных устройств.  
Характеристики и регулирование компрессоров. Особенности протекания характеристик низко- и высоконапорных компрессоров.  
Влияние регулирования компрессора на расчетных режимах на его характеристики.  
Запас устойчивости компрессора.  
Компрессоры, выполненные по двухвальной схеме.  
Характеристики турбины. Возможности регулирования турбин.  
Требования к камерам сгорания. Типы основных камер сгорания.  
Горение в потоке. Стабилизация пламени в камерах ГТД.  
Течение газа и потери полного давления в различных элементах камеры сгорания.  
Гидравлические и тепловые потери.  
Рабочий процесс в камере сгорания. Основные показатели, характеризующие совершенство рабочего процесса.  
Уравнение теплового баланса. Характеристика камеры сгорания.  
Поля параметров на выходе камеры.  
Топливо для ВРД. Углеводородные топлива и их свойства. Перспективные топлива.  
Эмиссия вредных веществ. Пути уменьшения вредных выделений из камер сгорания ГТД.  
Выходные устройства ВРД. Типы реактивных сопел.  
Рабочий процесс в сопле, показатели, характеризующие рабочий процесс.  
Основные требования к выходным устройствам ВРД.  
Тяговые характеристики сопел различных схем. Потери тяги при недорасширении.  
Отрыв потока при перерасширении.  
Эффективная тяга с учетом взаимодействия струи с внешним потоком. Требования к реверсивным устройствам. Классификация реверсивных устройств, глушение шума реактивной струи.  
54 Схема ТРД, изменение параметров по тракту двигателя.  
Влияние основных параметров рабочего процесса на удельную тягу и удельный расход топлива.  
Двухвальный ТРД и особенности его работы, понятие скольжения роторов. Условия совместной работы компрессоров и турбин в одновальной схеме.  
Общие сведения и принципиальные схемы ТРДД. Параметры рабочего процесса и параметры, характеризующие эффективность работы ТРДД.  
Основные преимущества двухконтурных двигателей, принцип массообмена. Принцип энергообмена.

Оптимальное распределение свободной энергии между контурами. Оптимальные значения степени повышения давления в вентиляторе и оптимальная величина степени двухконтурности при заданных параметрах внутреннего контура в условиях полета.

Абсолютный оптимум ТРДД по удельному расходу топлива. Влияние основных параметров процесса на удельную тягу и удельный расход топлива.

Влияние смещения потоков на основные параметры ТРДД см. Влияние параметров рабочего процесса на удельную массу ТРДД.

Общие сведения, классификация, основные параметры, характеризующие эффективность работы турбовинтовых двигателей (ТВД), турбовальных ГТД (ТВАД) и ВСУ. Общие сведения, классификация, основные параметры, характеризующие эффективность их работы.

Влияние параметров рабочего процесса на удельную мощность, удельный расход топлива и удельную массу. Оптимальное распределение свободной энергии между работой, передаваемой на винт ТВД и работой расширения в реактивном сопле.

Особенности ТВД с регенерацией топлива.

Вспомогательные авиационные ГТД (ВСТД) и их основные особенности.

Регулирование одновальных и двухвальных ТРД и ТРДФ на максимальном и форсированных режимах с учетом требований (ТТТ) к летательному аппарату. Номенклатура основных режимов ТРД и ТРДФ.

Эксплуатационные характеристики ТРД и ТРДФ и методы их получения.

Высотно-скоростные характеристики одновальных и двухвальных ТРД и ТРДФ,

Дроссельные характеристики ТРД и ТРДФ.

Характеристики ТРДД. Особенности условий работы каскадов компрессора. Особенности совместной работы элементов ТРДД разных схем. Особенности характеристик ТРДД и ТРДДФ.

Характеристики ТВД и ТВАД. Особенности регулирования и совместной работы элементов.

Характеристики турбовальных ГТД. Характеристики одновальных ТВАД.

Влияние условий эксплуатации на работу вертолетных ГТД. Эксплуатационные ограничения режимов работы двигателей.

Перспективы развития ВРД. Двигатели для военных летательных аппаратов. Двигатели для дозвуковых военно-транспортных и пассажирских самолетов. Двигатели с изменяемым рабочим процессом.

Пути и перспективы снижения удельной массы и улучшения экономичности авиационных ГТД. Перспективы применения новых топлив. Пятое поколение авиационных двигателей и его характеристики.

Обзор основных проблем теории ВРД.

Основные параметры камеры и двигателя РД. Источники энергии и массы для ракетных двигателей.

Тяга камеры. Удельные параметры камеры. Основные параметры двигателя.

Общие сведения о ЖРД. Состав ЖРД. Вытеснительная система подачи топлива. Насосная система подачи топлива. Управление и регулирование.

Жидкие ракетные топлива. Требования к топливам. Основные применяемые топлива.

Статические характеристики двигателя. Понятие о статистических характеристиках. Высотная характеристика. Дроссельная характеристика.

Теплозащита стенок камер. Основные способы защиты. Наружное проточное охлаждение. Внутреннее охлаждение. Теплоизоляционная защита.

Общие сведения о РДТТ. Состав РДТТ. Заряд РДТТ.

Твердые ракетные топлива. Основные требования. Виды твердых топлив.

Способы регулирования РДТТ. Разброс параметров.

Статические характеристики. Понятие о разбросе баллистических параметров

РДТТ.

Изменение величины тяги. Отсечка тяги.

### Техническая термодинамика

**Первый и второй законы термодинамики.** Параметры состояния. Идеальный газ. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Реальные газы. Уравнения состояния.

**Основные термодинамические процессы.** Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы. Политропные процессы. Дросселирование. Эффект Джоуля – Томсона.

**Процессы течения газов и жидкостей. Теплосиловые газовые циклы.** Скорость звука. Истечение из суживающихся сопел. Сопло Лавала. Циклы поршневых ДВС. Циклы газотурбинных установок. Циклы реактивных двигателей.

**Теплосиловые паровые циклы. Циклы прямого преобразования теплоты в электроэнергию.** Водяной пар. Цикл Ренкина. Циклы парогазовых установок. Цикл МГД-установки.

**Холодильные циклы.** Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки. Цикл парожеткаторной холодильной установки. Принцип работы теплового насоса.

### Основная литература

1. Теплотехника : [учебник для студентов инженерно-технических специальностей вузов] / А. П. Баскаков [и др.] ; под ред. А. П. Баскакова .— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : БАСТЕТ, 2010 .— 324, [4] с.
2. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для академического бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк .— 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2015 .— 566 с. : ил. ; 21 см .
3. Круглов, Геннадий Александрович. Теплотехника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова .— Москва : Лань, 2012 .— 208 с. : ил.
4. Дорофеев, А. А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование : [учебник для студентов высших учебных заведений] / А. А. Дорофеев .— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014 .— 571 с.
5. Дорофеев, А. А. Ядерные ракетные двигатели и энергетические установки. Введение в теорию, расчет и проектирование : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений] / А. А. Дорофеев ; под ред. И. И. Федика .— 2-е изд. — Москва : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2013 .— 342, [2] с. : ил. ; 21 см.
6. Ерохин, Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей : [учебник для студентов вузов РФ] / Б. Т. Ерохин .— Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2015 .— 597, [11] с. : ил.

### Дополнительная литература

1. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебное пособие для вузов / В. В. Нащокин .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Высшая школа, 1980 .— 469с. : ил. ; 21см.
2. Афанасьев, Ю. О. Техническая термодинамика и теплотехника : сборник задач : / Афанасьев Ю.О., Дворовенко И.И. — Москва : КузГТУ (Кузбасский Государственный Технический университет), 2011

3. Аджян, А. П. Ракетно-космическая техника. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-22 В двух книгах. Книга первая [Электронный ресурс] : / Аджян А.П, Аким Э.Л., Алифанов О.М., Андреев А.Н. — Москва : Машиностроение, 2012.
4. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : [учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика"] / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин .— 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд. дом МЭИ, 2008 .— 495 с. : ил. ; 27 см.

### **Интернет-ресурсы**

**(электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)**

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет - ресурсы.

### **Тепломассообмен**

**Теплопроводность.** Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность при нестационарном режиме.

**Конвективный теплообмен.** Теплообмен при ламинарном течении жидкости. Теплообмен при турбулентном течении жидкости. Общие вопросы расчета конвективной теплоотдачи.

**Теплообмен при фазовых превращениях.** Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при кипении.

**Теплообмен излучением.** Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой.

**Теплообменные аппараты.** Общие сведения о теплообменных аппаратах. Расчет теплообменных аппаратов.

### **Основная литература**

1. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Строительство"] / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко .— Москва : ИНФРА-М, 2015 .— 464 с. : ил. ; 21 см .
2. Цирельман, Н. М. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : методика преподавания и изучения дисциплины / Н. М. Цирельман ; ГОУ ВПО УГАТУ .— Учебное электронное издание .— Уфа : УГАТУ, 2010 .— 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см .
3. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика и теплотехника"] / А. А. Кудинов .— Москва : Инфра-М, 2012 .— 374 с. : ил. ; 21 см .

### **Дополнительная литература**

1. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика"] / Ф.

Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко .— 3-е изд., стер. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2010 .— 195 с. : ил. ; 21 см .

### **Интернет-ресурсы**

(электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет - ресурсы.

### **Гидрогазодинамика**

**Статика жидкой и газообразной среды.** Физические свойства жидкости и газа. Определение давления в жидкостях и газах. Равновесие жидкости. Уравнения Эйлера. Уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Относительный покой. Равновесие газа. Методы измерения давления в жидкостях и газах, приборы. Простейшие устройства, работа которых основана на законах равновесия жидкостей и газов.

**Кинематика жидкостей и газов. Гидрогазодинамика.** Кинематика жидкости. Основные уравнения динамики жидкости и газа. Одномерное течение вязкой несжимаемой жидкости. Плоские течения идеальной несжимаемой жидкости.

**Гидромеханика трубопроводов. Подобие и моделирование гидродинамических процессов.** Гидравлический расчет трубопроводов при установившемся напорном движении жидкости. Подобие гидромеханических процессов. Гидродинамический пограничный слой. Одномерные течения сжимаемого газа. Измерение гидродинамических параметров.

### **Основная литература**

1. Кудинов, А. А. Гидрогазодинамика : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика"] / А. А. Кудинов .— Москва : ИНФРА-М, 2015 .— 336 с. : ил. ; 21 см .
2. Клеванский, В. М. Гидрогазодинамика : [учебное пособие] / М. В. Клеванский ; УГАТУ .— 2-е изд., стер. — Уфа : УГАТУ, 2013 .— 309 с. : ил. ; 21 см .
3. Райзер, Ю. П. Введение в гидрогазодинамику и теорию ударных волн для физиков : [учебное пособие] / Ю. П. Райзер .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 432 с. : ил. ; 21 см .— (Физтехковский учебник) .
4. Моргунов, К. П. Гидравлика [Электронный ресурс]: [учебник для студентов вузов] / К. П. Моргунов .— СПб : Лань, 2014 .— 288 с. : ил.
5. Ухин, Б. В. Гидравлика : учебник / Б. В. Ухин, А. А. Гусев .— Москва : ИНФРА-М, 2010 .— 430, [1] с. : ил.
- 6.

### **Дополнительная литература**

1. Метревели, В. Н. Сборник задач по курсу гидравлики с решениями : учеб.пособие для студентов вузов / В. Н. Метревели. – 2-е изд., стер. – М. : Высшая школа,

2008. – 188, [1] с. : ил. – (Для высших учебных заведений) (Общетеchnические дисциплины).

2. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика [Электронный ресурс]: / Штеренлихт Д.В. — Москва : Лань", 2015 .
3. Давидсон, В. Е. Основы гидрогазодинамики в примерах и задачах : [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Технологические машины и оборудование"] / В. Е. Давидсон .— М. : Академия, 2008 .— 320 с. : ил. ; 21 см .

### **Интернет-ресурсы** (электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет - ресурсы.

### **Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии**

**Состояние и перспективы развития альтернативных источников энергии.** Традиционные и нетрадиционные источники энергии. Запасы источников энергии. Место нетрадиционных источников в удовлетворении энергетических потребностей человека. Политика России в области нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

**Гелиоэнергетика.** Физические основы процессов преобразования солнечной энергии в электрическую. Интенсивность солнечного излучения. Конструкции и материалы солнечных элементов. Солнечные электростанции. Системы солнечного теплоснабжения. Классификация и основные элементы гелиосистем. Типы коллекторов; принципы их действия и методы расчетов. Солнечные коллекторы с концентраторами. Аккумулирование тепла; типы аккумуляторов и методы их расчета. Тепловое аккумулирование для солнечного обогрева и охлаждения помещений.

**Использование энергии ветра.** Запасы энергии ветра и возможности ее использования. Ветровой кадастр России. Типы ветроэнергетических установок; ветроэлектростанции. Классическая теория идеального ветряка. Теория реального ветряка. Потери ветряных двигателей.

**Геотермальная энергия.** Тепловой режим земной коры. Запасы и распространение термальных вод. Методы и способы использования геотермального тепла для выработки тепловой и электрической энергии и в системах теплоснабжения жилых и производственных зданий. Экологические показатели ГеоТЭС. Состояние геотермальной энергетики в России.

**Энергетические ресурсы океана.** Использование энергии океана. Баланс возобновляемой энергии океана. Ресурсы тепловой энергии океана. Энергетические установки по использованию энергии океана (использование разности температуры воды, волн, приливов, течений).

**Энергия биомассы.** Понятие и классификация биотоплива. Биоэнергетические установки. Состояние и перспективы биоэнергетики в России.

**Вторичные энергоресурсы.** Понятие вторичных энергоресурсов (ВЭР). Использование вторичных энергоресурсов для получения электрической и тепловой энергии.

**Экологические проблемы использования альтернативных источников энергии.**

Проблема взаимодействия энергетики и экологии. Экологические последствия развития солнечной энергетики. Влияние ветроэнергетики на природную среду. Возможные экологические проявления геотермальной энергетики. Экологические последствия использования энергии океана. Экологическая характеристика использования биоэнергетических установок.

### Основная литература

1. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб.пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М. : КНОРУС, 2012. – 232 с.
2. Роза, да А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы : [учебное пособие] : пер. с англ. / А. да Роза ; под ред. С. П. Малышенко, О. С. Попеля .— Долгопрудный ; Москва : Интеллект : Изд. дом МЭИ, 2010 .— 704 с. : ил. ; 25 см .
3. Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире / В. Е. Фортов, О. С. Попель .— Науч. изд. — Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 168 с. : ил. ; 21 см .

### Дополнительная литература

1. Родионов, Владимир Гаврилович. Энергетика : проблемы настоящего и возможности будущего [Электронный ресурс]: / В. Г. Родионов .— Москва : ЭНАС, 2010 .— 352 с : ил .
2. Шутов, Е. А. Компьютерные технологии решения задач электроснабжения [Электронный ресурс]: / Шутов Е.А., Бабинович Д.Е. — Москва : ТПУ (Томский Политехнический Университет), 2013.
3. Твайделл, Д. Возобновляемые источники энергии / Д. Твайделл, А. Уэйр А. – М. :Энергоатомиздат, 1990. – 198 с.

### Интернет-ресурсы

(электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет - ресурсы.

### Теплообмен в авиационных конструкциях

**Проблемы тепловой защиты элементов проточной части ВРД.** Способы тепловой защиты и воздушного охлаждения жаровых труб камер сгорания, сопловых и рабочих лопаток и дисков турбин. Допустимые уровни их температур. Основные схемы воздушного охлаждения жаровых труб камер сгорания.

**Методы исследования теплообмена в ВРД.** Способы измерения температур. Сущность следующих методов определения коэффициентов теплоотдачи: калориметрического, градиентного, метода тонкого тела и метода регулярного теплового режима первого рода. Как Фурье предложил решать его дифференциальное уравнение

теплопроводности и результат для постоянного значения граничных условий теплообмена (регулярный тепловой режим)?

**Конструктивные оформления жаровых труб камер сгорания ВРД.** Способы тепловой защиты и воздушного охлаждения жаровых труб камер сгорания без пленочного охлаждения и с пленочным, уравнения теплового баланса для обоих случаев, решение уравнения теплового баланса четвертой степени относительно температуры стенки жаровой трубы с пленочным охлаждением, типичной для современных ВРД.

**Конструктивные схемы охлаждения лопаток турбин.** Граничные условия теплообмена со стороны газа и в каналах охлаждения. Тепловая защита элементов высокотемпературного тракта ВРД при помощи низкотеплопроводных керамических и металло-керамических покрытий. Способы определения коэффициентов теплопроводности теплозащитных покрытий.

**Теплоотдача в отверстиях, типичных для перфорации турбинных лопаток.** Методика экспериментального исследования теплоотдачи в отверстиях, типичных для перфорации турбинных лопаток, и уравнения подобия для выбора коэффициентов теплоотдачи в них.

**Доводка систем охлаждения лопаток на прозрачных моделях.** Обоснование достаточности моделирования лишь по числу Рейнольдса, с отстройкой от застойных зон течения охлаждающего воздуха внутри лопатки на основе визуальных наблюдений с вариантной перестановкой перегородок, штырей, перемычек и дужек. Исследование коэффициентов теплоотдачи с обработкой результатов в виде уравнений подобия. Исследование расходных характеристик внутренней полости с представлением результатов в обобщенном виде.

**Методика определения температуры лопаток.** Расчет безразмерной температуры лопатки для одинаковых условий работы на турбине в двигателе и продувки на стенде в пакете.

**Способы понижения температуры охлаждающего воздуха на входе в лопатки турбины.** Охлаждение в трубках-теплообменниках, расположенных во втором контуре и обдуваемых потоком холодного воздуха в этом контуре. Охлаждение впрыском жидкости в воздух кратковременно на форсажных режимах работы турбины. Охлаждение спутной закруткой в аппаратах закрутки с частичным расширением при подаче воздуха на вход в рабочие лопатки.

**Теплозащитные многокомпонентные керамические покрытия.** Формулы расчета коэффициентов теплопроводности металло-керамической пористой смеси в зависимости от объемного состава компонентов и их температуры. Способы уменьшения вероятности отслоения теплозащитного покрытия от охлаждаемой стенки.

### Основная литература

1. Макаров, Анатолий Николаевич (д-р техн. наук). Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках : [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Металлургия"] / А. Н. Макаров .— Санкт-Петербург [ и др.] : Лань, 2014 .— 384 с. : ил.
2. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Строительство"] / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко .— Москва : ИНФРА-М, 2015 .— 464 с. : ил. ; 21 см .
3. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика и теплотехника"] / А. А. Кудинов .— Москва : Инфра-М, 2012 .— 374 с. : ил. ; 21 см .

4. Барилевич , В. А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Теплоэнергетика и теплотехника"] / В. А. Барилевич , Ю. А. Смирнов .— Москва : ИНФРА-М, 2014 .— 432 с. : ил. ; 21 см

### Дополнительная литература

1. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для вузов/ В.Л. Иванов, А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов. М.:Изд-во МГТУ им.Баумана, 2004.-593 с.
2. Ахмедзянов А.М. и др. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. –М.: Машиностроение. 2000. –454 с.
3. Трушин В.А. Определение теплового потока от стенок. Методические указания к лабораторной работе.. Методические указания к лабораторной работе. Уфа: издание УГАТУ, 2005. – 14 с.

### Интернет-ресурсы

(электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет - ресурсы.

### Теплообменные аппараты

**Типы теплообменных аппаратов.** Типы теплообменных аппаратов. Основные теплофизические свойства теплоносителей. Уравнения, лежащие в основе расчёта теплообменных аппаратов: уравнения теплового баланса, теплопередачи, неразрывности, потерь давления в каналах, мощности.

**Среднелогарифмический температурный напор.** Понятие коэффициента теплопередачи для пластины и для трубы, среднелогарифмический температурный напор и его выбор для перекрёстных схем течения теплоносителей.

**Расчет конечных температур теплоносителей.** Формулы расчёта конечных температур теплоносителей для прямоточной и противоточной схем. Определение температур поверхностей теплообмена.

**Гидросопротивления теплообменников.** Влияние ускорения потока на гидравлическое сопротивление канала. Влияние подогрева воздуха в канале на его гидравлическое сопротивление. Физический смысл термина «местные сопротивления».

**Оребрение поверхностей теплообмена.** Цель оребрения поверхностей. Эффективность прямых и круглых рёбер.

**Регенеративные теплообменники.** Уравнения, лежащие в основе расчета регенеративных теплообменников, допущения при выводе формул расчета. Графики температур газа, воздуха и матрицы во времени. Степень регенерации регенеративного теплообменника.

**Тепловая труба.** Принцип работы тепловой трубы, ее конструктивное оформление, теплопередающая способность и значения параметров теплоносителя внутри трубы.

### Основная литература

1. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Строительство"] / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко .— Москва : ИНФРА-М, 2015 .— 464 с. : ил. ; 21 см .
2. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика и теплотехника"] / А. А. Кудинов .— Москва : Инфра-М, 2012 .— 374 с. : ил. ; 21 см .

### **Дополнительная литература**

1. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для вузов/ В.Л. Иванов, А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов. М.:Изд-во МГТУ им.Баумана, 2004.-593 с.
2. Ахмедзянов А.М. и др. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение. 2000. –454 с.
3. Трушин В.А. Определение теплового потока от стенок. Методические указания к лабораторной работе.. Методические указания к лабораторной работе. Уфа: издание УГАТУ, 2005. – 14 с.

### **Интернет-ресурсы**

**(электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)**

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет - ресурсы.