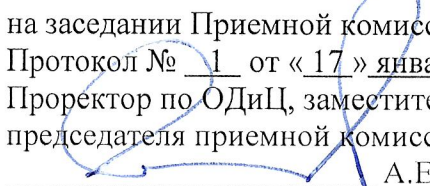
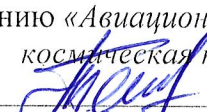


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

**ПРИНЯТО:**

на заседании Приемной комиссии  
Протокол № 1 от «17» января 2024г.  
Проректор по ОДиЦ, заместитель  
председателя приемной комиссии  
  
А.Е. Шашурин

**УТВЕРЖДАЮ:**

Председатель экзаменационной  
комиссии по вступительному  
испытанию «Авиационная и ракетно-  
космическая теплотехника»  
  
И.В. Тетерина  
«28» декабря 2023г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

для поступающих на обучение по образовательным программам высшего  
образования – программам магистратуры  
по направлению 24.04.05 – «Двигатели летательных аппаратов»  
Магистерская программа – «Авиационная и ракетно-космическая  
теплотехника»

Санкт-Петербург  
2024 г.

## **Содержание основных тем испытания**

### **Раздел 1 Техническая термодинамика и теплопередача**

Основные положения, понятия и определения. Термодинамическая система, рабочее тело, ТД параметры и процессы. Идеальный газ, термическое уравнение состояния идеального и реального газов. Смеси газов. Энергообмен термодинамической системы с внешней средой. Первый закон термодинамики. Элементарные процессы. Расчёт параметров процессов. Второй закон термодинамики. Циклы, их эффективность. Понятие энтропии и эксергии систем. Циклы с фазовыми переходами.

Термодинамика потока газа. Особенности течения газа по соплам и диффузорам. Сопло Лаваля, принципы ускорения потока газа до сверхзвуковых скоростей. Параметры потока газа на выходе из сопла. Анализ эффективности реальных тепловых машин методом циклов. Обобщённый цикл ДВС. Цикл ГТУ. Цикл компрессора. Пути повышения эффективности машин.

Основы теории теплообмена. Основные процессы теплообмена. Теплопередача. Стационарная теплопроводность. Теплопроводность плоской и цилиндрической одно- и многослойной системы, теплопередача через стенку. Теплоизоляция. Нестационарная теплопроводность тел. Конвективный теплообмен. Теплоотдача. Понятие о пограничном слое в потоке на поверхности тела. Критерии подобия процессов теплоотдачи, критериальное уравнение теплоотдачи. Вынужденная и свободная конвекция подвижной среды. Теплообмен тепловым излучением. Анализ влияния различных начальных параметров на интенсивность теплопередачи. Интенсификация теплопередачи оребрением поверхности теплообмена. Эффективность ребра и системы рёбер.

Использование положений термодинамики в теплотехнике. Термодинамическая эффективность тепловых машин. Пути повышения эффективности, предельная эффективность тепловых машин.

**Раздел 2 Устройство, основы теории и конструкции реактивных двигателей**

Основы реактивного движения. Тяга, удельный импульс. Режимы работы сопла. Потери удельного импульса. Классификация реактивных двигателей. Воздушно-реактивные двигатели. Жидкостные ракетные двигатели. Ракетные двигатели на твердом топливе. Основные элементы конструкции двигателей. Организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания. Устройство и принцип работы камер сгорания и газогенераторов. Смещение компонентов. Типы форсунок. Охлаждение и защита камеры сгорания. Компрессоры. Турбины.

Термогазодинамический расчет реактивных двигателей. Физическое и математическое моделирование процессов в РД. Газодинамика процессов в камере идеального ракетного двигателя. Расчет основных конструктивных параметров и характеристик РД. Совершенство процессов в камере РД. Тепловые расчеты ракетных двигателей. Сопла ракетных двигателей. Профилирование сверхзвуковых сопел. Определение геометрических размеров камеры РД.

### **Раздел 3 Аэрогазодинамика**

Роль законов сохранения, количества движения массы и энергии в гидродинамике и теплотехнике. Примеры использования этих законов в математических моделях процессов тепло и массопереноса. Уравнение Бернулли для совершенного газа. Уравнение Бернулли для несжимаемого газа (сравнение со случаем совершенного газа). Определение скорости потока несжимаемого газа с помощью трубки Пито–Прандтля. Ламинарный пограничный слой на осесимметричных и трехмерных телах. Турбулентный пограничный слой. Структура турбулентного пограничного слоя. Турбулентная вязкость, модели турбулентности. Методы расчета турбулентного пограничного слоя. Отрывные течения: понятие отрыва, типы и критерии отрыва, методы расчета отрывных течений. Соотношения на прямом и косом скачках уплотнения для давления, плотности и температуры (вывод соотношений, графики зависимостей, область физической реализуемости, пределы изменения, угол Маха). Примеры применения общей теории течения

Прандтля–Майера (обтекание выпуклой и вогнутой поверхностей равномерным сверхзвуковым потоком; обтекание выпуклого двугранного угла, предельный угол разворота потока). Ударная труба. Волны Римана. Задача о распаде произвольного разрыва. Нестационарное истечение газа в пустоту. Волновое уравнение акустики. Течение вязкой жидкости. Уравнения Навье–Стокса. Турбулентные течения. Уравнения Навье–Стокса осредненные по Рейнольдсу. Модели турбулентности. Гипотеза Буссинеска о турбулентной вязкости. Вихреразрешающие подходы.

#### **Раздел 4 Вычислительная газодинамика и теплотехника**

Численное моделирование в механике, системы дифференциальных уравнений, граничные задачи, методы их решения. Конечно-разностные методы решения уравнений вычислительной гидроаэромеханики и теплотехники, разностные схемы, методы дальнейшего решения разностных аналогов. Методы решения больших систем алгебраических уравнений, порожденных конечно-разностными методами в применении к задачам гидроаэромеханики и теплотехники, специальные методы для систем с матрицами определённых видов. Особенности в граничных задачах гидроаэромеханики и теплотехники, методы их прохождения в численных методах. Консервативная и неконсервативные формы системы уравнений газодинамики. Характеристическая форма уравнений газовой динамики. Характеристическая форма граничных условий. Линеаризация на временном шаге уравнений газовой динамики. Матрицы Якоби для потоков. Аппроксимация временного шага. Дельта форма. Криволинейные координаты и криволинейные сетки в задачах механики. Основной и взаимный базис. Фундаментальный метрический тензор. Ковариантные и контравариантные составляющие вектора. Построение криволинейных координат, согласованных с криволинейной границей области. Методы генерации сеток. Понятие об адаптивных сетках. Уравнения механики сплошной среды в криволинейных обобщенных координатах. Подходы и методы вычислительного моделирования

в АРКТ. Современные информационные технологии для вычислительного моделирования задач течения вязкой жидкости.

## **Раздел 5 Химическая термодинамика и теория горения**

Основные законы термодинамики в приложении к химическим процессам. Нулевой закон термодинамики. Первый закон термодинамики (закон Гесса). Тепловой эффект реакции. Энтальпия. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Системы отсчета энтальпии. Теплоемкость. Второй закон термодинамики, энтропия. Изменение энтропии и энтальпии в термодинамических процессах. Третий закон термодинамики. Тепловая теорема Нерста. Характеристические функции. Скорость химической реакции. Определение скорости химической реакции. Элементы теории горения. Равновесие термодинамических систем при наличии фазовых и химических превращений. Химическая кинетика. Формула Аррениуса. Критический подвод тепла к химически реагирующим смесям. Гидродинамическая теория детонации. Горение предварительно перемешанной газовой смеси. Теория термического распространения пламени. Нормальная скорость горения по Зельдовичу-Франк-Каменецкому. Движение двухфазной смеси в сопле. Локальный энергоподвод.

### **Рекомендуемая литература и материалы для подготовки**

#### **Основная литература:**

1. Лагранжевы модели турбулентных течений газа с частицами: учебное пособие [для вузов] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. С. Козелков, Е. С. Тятюшкина. – СПб.: Лань, 2022. – 242 с. – ISBN 978-5-8114-8548-2.

2. Акустические взаимодействия в газовых потоках / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. И. Цветков [и др.]; ред.: В. Н. Емельянов, К. Н. Волков. – М.: Физматлит, 2021. – 590 с. – ISBN 978-5-9221-1890-3.

3. Визуализация данных физического и математического моделирования в газовой динамике / К. Н. Волков [и др.]; ред.: В. Н. Емельянов, К. Н. Волков. – М.: Физматлит, 2018. – 356 с. – ISBN 978-5-9221-1774-6.

4. Волков К.Н. Газовые течения в соплах энергоустановок / К. Н. Волков [и др.]; ред. В. Н. Емельянов. – М.: Физматлит, 2017. – 326 с. – ISBN 978-5-9221-1718-0.

5. Голубев А.Г., Епихин А.С., Калугин В.Т. Аэродинамика. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017.

6. Башкин В.А., Егоров И.В. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики. М.: Физматлит, 2013.

7. Волков К.Н. Разностные схемы в задачах газовой динамики на неструктурированных сетках / Под ред. проф. В.Н. Емельянова, д.ф.-м.н. К.Н. Волкова. / Волков К.Н., Дерюгин Ю.Н., Емельянов В.Н., Козелков А.С., Тетерина И.В – М.: Физматлит, 2014. – 416 с. – ISBN 978-5-9221-1609-1.

8. Усков В.Н. Бегущие одномерные волны: учебное пособие [для вузов]. Кн. 1 / В.Н. Усков ; БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. - СПб.: 2013. - 232 с. ISBN 978-5-85546-768-0

9. Усков В.Н. Бегущие одномерные волны: учебное пособие [для вузов]. Кн. 2 / В.Н. Усков; БГТУ «ВОЕНМЕХ». - СПб.: 2013. - 186 с. - ISBN 978-5-85546-767-3

10. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. – М.: Физматлит, 2012. – 468 с. ISBN 978-5-9221-1438-7.

11. Волков К.Н. Течения газа с частицами / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. - М.: Физматлит, 2008. – 599 с. – ISBN 978-5-9221-1000-6.

12. Циркунов Ю.М., Тарасова Н.В. Методы возмущений в задачах аэродинамики: Учебное пособие. – СПб: Изд-во БГТУ, 2007. – 272 с.

13. Волков К.Н. Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок [Текст] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. – М.: Физматлит, 2011. – 463 с. – ISBN 978-5-8221-1350-2.

14. Волков К.Н. Двухфазные течения: учебное пособие [для вузов] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов; Балт. гос. техн. ун-т "Военмех". – Электрон. текстовые дан. – СПб, 2005.

15. Маслов А.Р. Высокоэффективные технологии и оборудование современного машиностроительного производства: учебник для вузов / А.Р. Маслов, С.В. Фёдоров, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 331 с. – ISBN 978-5-94178-555-1.

16. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 488 с.

17. Булат П.В. Ударно-волновые структуры: курс лекций : учебное пособие [для вузов] / П. В. Булат, М. В. Чернышов ; БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. - 2022 - . Ч. I : Основы теории интерференции и рефракции газодинамических разрывов / П. В. Булат. - М. : Спутник +, 2022. - 117 с. - ISBN 978-5-9973-6473-1

18. Филимонов Ю.Н., Анискевич Ю.В. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: учебное пособие. БГТУ – СПб., 2011. – 181 с.

#### **Дополнительная литература:**

1. Алемасов В.Е., Дрегаллин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. – М.: Машиностроение. 1980. 553с.

2. Васильев А.П., Кудрявцев В.М. Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей. – М.: ВШ. 1983. 703с.

3. Штехер М.С. Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. М.: Машиностроение. 1976. 302с.

4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М., ВШ, 1975.

5. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1986.

6. Основы практической теории горения: учебное пособие для вузов / В. В. Померанцев [и др.] ; ред. В. В. Померанцев. - Л. : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1973. - 263 с.

7. Исаченко В.П., В.А.Осипова, А.С.Сукомел Теплопередача: учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981.
8. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. – М.: Высшая школа, 1988.
9. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979.
10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987.
11. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1, Т. 2. – М.: Наука, 1970.
12. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике.- Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978.
13. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика.- М.: Высшая школа, 1966.
14. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974.
15. Моисеев М.Г., Савельев Ю.П., Циркунов Ю.М. Трение и теплообмен в аэродинамике летательных аппаратов. Уравнения Навье-Стокса и ламинарного пограничного слоя.- Л.: Изд-во Лен. мех. ин-та, 1986.
16. Хинце И.О. Турбулентность. – М.: ФМ, 1963.
17. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. - М.: Наука, 1967.
18. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т. 1, Т 2.– М.: Мир, 1990.
19. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. 1, Т. 2. - М.: Мир, 1991.
20. Белов И.А., Емельянов В.Н. Разностное моделирование течений газа и жидкости. – Л.: Изд-во Ленингр. механич. ин-та, 1982.

#### **Электронные материалы:**

1. Образовательная платформа Юрайт: <https://urait.ru/>
2. ЭБС Лань: <https://e.lanbook.com/>
3. Библиотечно-издательский центр БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова: [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)