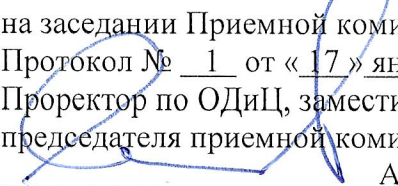
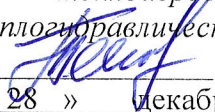


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

**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 «Физическое и  
вычислительное моделирование  
теплоаэродинамических и  
теплогидравлических процессов»  
  
\_\_\_\_\_ И.В. Тетерина  
«28» декабря 2023г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**  
для поступающих на обучение по образовательным программам высшего  
образования – программам магистратуры  
по направлению 24.04.03 – «Баллистика и гидроаэродинамика»  
Магистерская программа – «Физическое и вычислительное моделирование  
теплоаэродинамических и теплогидравлических процессов»

Санкт-Петербург  
2024 г.

## Содержание основных тем испытания

### Раздел 1 Аэрогидрогазодинамика

Физическое и математическое описание воздушной среды. Стандартная атмосфера. Модели воздушных потоков. Аэродинамические силы и моменты, действующие на летательный аппарат. Размерности физических величин. Аэродинамические коэффициенты. Системы координат. Основные физические факторы, оказывающие влияние на величину аэродинамических сил и моментов.

Основы кинематики сплошной среды, основные понятия и определения. Жидкая частица. Гипотеза сплошности. Переменные Лагранжа и Эйлера. Траектории и линии тока. Вращательное и деформационное движение жидкости. Закон сохранения масс. Интегральная запись закона сохранения масс. Дифференциальная запись закона сохранения масс (уравнение неразрывности). Уравнение количества движения в интегральной и дифференциальной формах. Простейшие интегралы уравнений движения. Интеграл Бернулли. Интеграл Лагранжа-Коши. Закон сохранения энергии. Внутренняя энергия. Полная энергия. Теплосодержание. Теплоемкость. Вектор потока тепла. Уравнение энергии в интегральной и дифференциальной формах. Энтропия.

Течение газа в канале переменного сечения. Сопло Лавалья. Реактивная сила. Уравнения термодинамического состояния. Уравнения напряженного состояния. Ламинарное и турбулентное течения жидкости. Пограничный слой. Качественное отличие дозвуковых и сверхзвуковых течений. Метод характеристик. Течение разряжения Прандтля-Майера. Изоэнтропические волны конечной амплитуды. Прямой скачок уплотнения. Ударная труба. Косой скачок уплотнения. Обтекание ромбовидного профиля сверхзвуковым потоком.

Гидростатика. Кинематика и динамика жидкости. Уравнение Бернулли. Гидравлические потери. Режимы течения жидкости в трубах и каналах.

Основы теории гидродинамического подобия. Местные сопротивления. Истечение жидкости через отверстия и насадки. Гидравлика.

## **Раздел 2 Нестационарная газодинамика**

Стационарные и нестационарные физические процессы. Число Струхала. Вывод уравнений нестационарной газовой динамики. Одномерные течения с плоской, осевой и сферической симметрией. Характеристики уравнений газовой динамики и их физический смысл. Отображение нестационарных газодинамических процессов на «плоскости событий».

Газодинамические разрывы. Условия совместности на контактных разрывах и ударных волнах. Основные соотношения, описывающие динамику ударной волны, её свойства и параметры спутного потока за ней. Способы задания ударной волны. Понятие о слабом разрыве и условия совместности на его поверхности. Акустическая теория ударных волн. Косая ударная волна. Нормальное, регулярное и нерегулярное отражение косых ударных волн. Отражение взрывной волны при приповерхностном взрыве. Соответствие между отражением косых ударных (взрывных) волн и косых скачков уплотнения.

Инварианты Римана. Прямая и обратная теоремы о простых волнах. Простые волны разрежения и сжатия. Свойства особых ударных волн и волн Римана. Экстремальные параметры течения за бегущими волнами. Фокусировка ударных волн. Элементарная теория детонационной волны. Основные закономерности и уравнения теории волн детонации и дефлаграции.

Задача Римана о распаде разрыва, ее прикладное значение, включая задачи вычислительной гидрогазодинамики. Сводимость взаимодействия газодинамических разрывов к задаче Римана. Взаимодействие догоняющих и встречных ударных волн. Рефракция ударной волны на контактном разрыве.

## **Раздел 3 Основы теплотехники.**

Основные положения, постулаты и законы термодинамики. Термодинамические параметры и термодинамические функции состояния систем. Использование положений термодинамики в теплотехнике.

Термодинамическая эффективность тепловых машин. Пути повышения эффективности, предельная эффективность тепловых машин.

Термодинамика потока газа. Особенности течения газа по соплам и диффузорам. Сопло Лавалья, принципы ускорения потока газа до сверхзвуковых скоростей. Параметры потока газа на выходе из сопла.

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.

#### **Раздел 4 Теория и техника гидроаэромеханического и теплофизического эксперимента**

Методология научных исследований. Теория размерности.  $\pi$  - теорема. Теория подобия. Законы и критерии подобия. Стенды и установки для проведения эксперимента в механике и теплотехнике. Методы и приборы для измерений параметров потоков жидкости, газа и плазмы. Основы теплофизических измерений. Планирование эксперимента. Обработка и анализ результатов.

#### **Раздел 5 Численные методы аэрогидрогазодинамики и теплотехники**

Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных и методиках их решения. Классификация дифференциальных уравнений. Эллиптические, параболические и гиперболические уравнения в частных производных. Примеры уравнений (уравнение Пуассона, уравнение

теплопроводности, волновое уравнение). Связь между типом уравнений и описываемыми ими физическими процессами. Уравнения аэрогазодинамики и теплотехники.

Постановка краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных. Корректность краевой задачи. Краевые задачи для гиперболических, параболических и эллиптических уравнений (задачи Коши, Дирихле, Неймана и др.).

Примеры граничных условий в задачах аэрогазодинамики. Сетки и сеточные функции. Виды расчетных сеток, их достоинства и недостатки. Разностные аналоги краевых условий. Разностная аппроксимация простейших дифференциальных операторов. Методы построения конечноразностных аппроксимаций. Явные и неявные разностные схемы.

Свойства разностных схем: сходимость, аппроксимация, устойчивость. Зависимость между аппроксимацией и устойчивостью. Свойства консервативности и экономичности схем. Спектральный признак устойчивости. Анализ устойчивости наиболее распространенных разностных схем. Условие устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви.

Метод прогонки. Алгоритм метода прогонки на примере разностной схемы для решения первой краевой задачи для уравнения теплопроводности. Прогоночные соотношения. Реализация метода прогонки для различных типов граничных условий. Прямая и обратная прогонка. Оценка экономичности метода прогонки.

Разностные схемы для двумерных и трехмерных задач. Метод дробных шагов в разностных схемах расщепления. Методы решения уравнения Пуассона. Прямые и итерационные методы. Методы установления. Разностные схемы для уравнения переноса вихря. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа. Схемы с явной и неявной искусственной вязкостью. Метод С.К.Годунова. Метод конечных объемов, метод частиц в ячейках (метод Харлоу), метод крупных частиц.

**Рекомендуемая литература и материалы для подготовки**

### **Основная литература:**

1. Сахин В.В. Основы теории теплообмена. – СПб: Изд-во БГТУ «Военмех», 1999.
2. Усков В.Н. Бегущие одномерные волны. – СПб.: Изд-во БГТУ «Военмех», 2000.
3. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. М.: Физматлит, 2008. – 368 с.
4. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Течения газа с частицами. М.: Физматлит, 2008. – 600 с.
5. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях. М.: Физматлит, 2010. – 488 с.
6. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок. М.: Физматлит, 2011. – 464 с.
7. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа М.: Физматлит, 2012 – 540 с.
8. Сахин В.В. Теплообменные аппараты: Учеб. пособие / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2010. – 131 с.
9. Сахин В.В. Устройство и действие энергетических установок: Книга 1. Поршневые машины. Паровые турбины: учебное пособие / В.В. Сахин, Балт. гос. техн. ун-т. - СПб., 2015. -172 с.
10. Сахин В.В. Устройство и действие энергетических установок: Книга 2. Газовые турбины. Теплообменные аппараты: учебное пособие / В.В. Сахин, Балт. гос. техн. ун-т. - СПб., 2015. -133 с.
11. Аэродинамика. Учебное пособие для вузов/ Голубев А.Г. [и др.] ред. Калугин В.Т.687с. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010
12. Акимов Г.А., Зазимко В.А., Моисеев М.Г. Аэрогазодинамика. Ч.2. Руководство к лабораторным работам по аэрогазодинамике . СПб, Электронный ресурс. БГТУ «Военмех», 2008.
13. Емельянов В.Н. Введение в теорию разностных схем. Учебное пособие для вузов. СПб.:БГТУ «Военмех», 2001.

14. Моисеев М.Г., Циркунов Ю.М. Основы аэрогазодинамики. СПб: БГТУ, 2006г.
15. Аэродинамические характеристики летательных аппаратов. Под ред. А.С. Шалыгина. СПб: БГТУ 2003.
16. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике. СПб: Издательство СПбГУ 2005.
17. Алиев А. В., Амарантов Г. Н., Ахмадеев В. Ф.. . Внутренняя баллистика РДТТ. Москва: Машиностроение, 2007.
18. Сухов А. В., Феценко М. М., Тюгаев М. В.. . Твёрдые ракетные топлива. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
19. Королёв В. А., Стажков С. М.. . Элементы пневматического привода. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 65 экз.
20. Белов В. П.. . Сопловые блоки ракетных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019
21. Гречух И. Н., Гречух Л. И.. . Жидкостные ракетные двигатели. Омск: ОмГТУ, 2017
22. Копылов И. П.. . Электрические машины. Москва: Юрайт, 2020.
23. Моргунов К. П.. . Гидравлика. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
24. Липов Ю. М., Третьяков Ю. М.. . Котельные установки и парогенераторы. М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2003
25. Овчинникова О. К., Лаптинская М. М., Тетерина И. В.. . Численное моделирование газовых смесей и двухфазных течений. СПб.: НИЦ АРТ, 2022
26. Яковчук М. С.. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013.
27. Овчинникова О. К., Лаптинская М. М., Тетерина И. В.. . Решение прикладных задач термогазодинамики в Ansys. СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023, эл. рес.
28. Овчинникова О. К., Герлиман Е. М., Тетерина И. В.. . Вычислительная математика в задачах аэрокосмической техники. СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022, эл. рес.

29. Пирумов У. Г., Гидаспов В. Ю., Иванов И. Э.. Численные методы. Москва: Юрайт, 2019, эл. рес.

**Дополнительная литература:**

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987.
2. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике.- Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978.
3. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика.- М.: Высшая школа, 1966.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981.
6. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. – М.: Высшая школа, 1988.
7. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979.
8. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1, Т. 2. – М.: Наука, 1970.
9. 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.
10. Усков В.Н. Ударные волны и их взаимодействие. - Л.: Изд-во Ленингр. механич. ин-та, 1980.
11. Хинце И.О. Турбулентность. – М.: ФМ, 1963.
12. Турбулентность: принципы и применения. – М.: Мир, 1980.
13. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. - М.: Наука, 1967.
14. Ферцигер Дж., Капер Г. Математическая теория процессов переноса в газах. - М.: Мир, 1976.
15. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т. 1, Т 2.– М.: Мир, 1990.
16. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. 1, Т. 2. - М.: Мир, 1991.
17. Белов И.А., Емельянов В.Н. Разностное моделирование течений газа и жидкости. – Л.: Изд-во Ленингр. механич. ин-та, 1982.



18. Емельянов В.Н., Мясоедова О.В. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1. – Л.: Изд-во Ленингр. механич. ин-та, 1991.

19. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа М.: Наука, 1987 г.

20. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика М.: Высшая школа, 1966 г.

21. Любимов А. К., Шабарова Л. В.. . Методы построения расчётных сеток в пакете ANSYS ICEM CFD. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2011

22. Бруйка В. А., Фокин В. Г., Кураева Я. В.. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: Изд-во СамГТУ, 2013.

23. Фёдорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н.. . Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017.

24. Батулин О. В., Батулин Н. В., Матвеев В. Н.. . Расчёт течений жидкости и газа с помощью универсального программного комплекса FLUENT. Самара: Изд-во СГАУ, 2009.

**Электронные материалы:**

1. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;

2. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Библиотечно-издательский центр БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова;

3. <https://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.