

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»  
(СПбГМТУ)

ПРИНЯТО

На заседании ученого  
совета ФКЭиА

« 18 » марта 2014 г.  
(протокол № 3/2014)



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по НР СПбГМТУ

А.К. ФИЛИМОНОВ

« 19 » 03 2014 года

**ПРОГРАММА**  
**вступительного экзамена в аспирантуру**

по направлению 26.06.01

«Техника и технологии кораблестроения и водного транспорта»

по профилю

«Судовые энергетические установки  
и их элементы (главные и вспомогательные)»

Санкт-Петербург  
2014

## **1. ВОПРОСЫ ПО ПРОФИЛЮ «СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)»**

### **1.1. Дизели и дизельные установки.**

Место ДВС в мировой энергетике. Турбопоршневой ДВС как наиболее экономичный тепловой двигатель. Основные параметры и показатели поршневых ДВС. Перспективы развития ДВС.

**Термодинамический, расчетный и действительный циклы поршневых ДВС.** Основные понятия и определения теории поршневых двухтактных и четырехтактных ДВС: принципиальные схемы, принципы работы, рабочие тела, термодинамические циклы, индикаторные диаграммы, базовые термодинамические закономерности.

**Процессы наполнения и сжатия.** Процесс наполнения цилиндра воздухом: протекание процесса в четырех- и двухтактных ДВС, потери процесса, коэффициент остаточных газов, коэффициент наполнения. Расчет параметров рабочего тела в процессе наполнения. Обоснование величины степени сжатия для дизелей различных типов. Расчет процесса сжатия. Работа процесса сжатия.

**Процессы сгорания и расширения.** Топлива для дизелей. Основные эксплуатационные требования к топливам, структура, физические и химические свойства, оценка склонности к самовоспламенению. Перспективы использования синтетических, газовых, растительных топлив и водотопливных эмульсий. Токсические компоненты дизельных и бензиновых ДВС. Процессы воспламенения и сгорания топлива в дизелях. Фазы процесса сгорания.

**Системы наддува ДВС.** Особенности процесса выпуска в четырех- и двухтактных двигателях. Коэффициент продувки, коэффициент остаточных газов, суммарный коэффициент избытка воздуха. Определение давления и температуры рабочего тела рабочего тела в выпускном коллекторе. Наддув дизелей: назначение, основные понятия. Основные способы организации системы наддува: механический, газотурбинный, комбинированный, двухступенчатый, регистровый. Типы турбокомпрессоров и воздухоохладителей. Особенности наддува двухтактных дизелей.

**Системы двигателей.** Системы охлаждения ДВС. Масляные системы ДВС. Пусковые системы ДВС. Системы реверсирования. Агрегаты наддува двигателей.

### **1.2. Турбины и газотурбинные и паротурбинные установки.**

Термодинамические процессы, составляющие энергетические циклы ГТУ и ПТУ. Паровые и газовые турбины, принцип действия и устройство паровых и газовых турбин, их параметры и эффективность. Судовые газотурбинные двигатели, их конструкция и принцип работы; параметры судовых ГТД и ПТУ и их эффективность. ПТУ атомных ЭУ.

Степень осевой турбины, физические основы ее работы, сопловая и рабочая решетки турбинных профилей, скорости газового (парового) потока на выходе из них.

Причины использования многоступенчатых турбин. Ступени скорости. Рабочий процесс в S-I диаграмме. Треугольники скоростей. Решетки профилей. Зависимость окружного КПД от скоростной характеристики. Многоступенчатые турбины со ступенями давления. Рабочий процесс в S-I диаграмме. Располагаемый перепад энтальпий.

**ГТД открытого простого и сложного цикла.** Термодинамические процессы, составляющие энергетический цикл ГТД. Идеальный и реальный циклы. Работа сжатия и расширения рабочего тела.

**ГТУ закрытого цикла.** Особенности и схема ГТУ закрытого цикла. Сравнение КПД ГТУ открытого и закрытого цикла с одинаковыми параметрами при работе на химическом топливе.

### 1.3. Ядерные энергетические установки.

**Ядерные реакторы.** Классификация ядерных реакторов; конструкция ядерных реакторов; ядерное топливо; теплоносители; замедлители; конструкционные материалы; физика ядра; йодная яма.

**Основные особенности и принципиальные схемы судовых ядерных энергетических установок.** Схемы и классификация ядерных энергетических установок. Особенности судовых ядерных энергетических установок. Основные типы реакторных установок

Параметры, тепловые схемы и особенности паропроизводящих установок. Параметры, тепловые схемы и особенности паротурбинных установок.

**Конструкция реакторов и основного вспомогательного оборудования.** Принципиальные схемы компоновки и общее устройство реакторов. Конструкция и материалы тепловыделяющих элементов и технологических каналов. Конструкция органов регулирования и приводов системы управления и защиты реактора. Парогенераторы судовых ядерных установок. Конструкция основного вспомогательного оборудования первого контура. Размещение оборудования ЯЭУ на судне.

### 1.4. Электрохимические энергоустановки и тепловые двигатели замкнутого цикла.

Физические свойства водорода; взрывопожароопасность водорода; химические соединения водорода; аккумулялирование водорода; получение водорода;

Физико-химические основы преобразования химической энергии в электрическую. Основные типы топливных элементов и области их применения. Топливные элементы с твердополимерными мембранами. Основные принципы построения энергоустановок с ЭХГ. Схемы энергоустановок с ЭХГ. Система подготовки и подачи водорода, система подготовки и подачи кислорода. Охлаждение топливных элементов.

Тепловые двигатели замкнутого цикла. Двигатели Стирлинга (схема, цикл, принцип работы). ДВС замкнутого цикла (схема, цикл, принцип работы). ГТУ замкнутого цикла (схема, цикл, принцип работы).

### 1.5. Судовые энергетические установки.

Проектирование как поиск оптимальных технических решений по СЭУ и ее элементам. Математическое моделирование и обоснование критериев эффективности сложных технических систем. Ранние стадии проектирования СЭУ и вопросы неопределенности исходных данных. Имитационное моделирование СЭУ. Повышение эффективности вспомогательных энергетических комплексов в составе СЭУ. Системы СЭУ. Проектирование расположения СЭУ. Вопросы утилизации теплоты в СЭУ. Озонобезопасные технологии в холодильной технике и системы кондиционирования воздуха.

## 2. ВОПРОСЫ ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ДИЗЕЛИ И ДИЗЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

### 2.1. Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания.

Место ДВС в мировой энергетике. Турбопоршневой ДВС как наиболее экономичный тепловой двигатель. Основные параметры и показатели поршневых ДВС. Отечественные и зарубежные предприятия дизелестроения. Перспективы развития ДВС. Виды деятельности и профессиональные требования к инженерам-двигателистам в современных условиях.

**Термодинамический, расчетный и действительный циклы поршневых ДВС.** Основные понятия и определения теории поршневых двухтактных и четырехтактных ДВС:

принципиальные схемы, принципы работы, рабочие тела, термодинамические циклы, индикаторные диаграммы, базовые термодинамические закономерности. Особенности расчетной методики Гриневецкого-Мазинга. Другие методы расчета и моделирования рабочего процесса комбинированного ДВС.

**Процессы наполнения и сжатия.** Процесс наполнения цилиндра воздухом: протекание процесса в четырех- и двухтактных ДВС, потери процесса, коэффициент остаточных газов, коэффициент наполнения. Расчет параметров рабочего тела в процессе наполнения, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на качество процесса наполнения. Условия протекания процесса сжатия в цилиндре дизеля. Геометрическая и действительная степени сжатия. Представление реального процесса в виде политропного с переменным показателем политропы, «кажущаяся адиабата». Определение величины показателя политропы процесса сжатия. Обоснование величины степени сжатия для дизелей различных типов. Расчет процесса сжатия. Работа процесса сжатия. Факторы, оказывающие влияние на процесс сжатия: влияние теплообмена и утечек рабочего тела на параметры и показатели процесса. Увязка величины действительной степени сжатия и соотношения размеров цилиндра с объемом и формой камеры сгорания.

**Процессы сгорания и расширения.** Топлива для дизелей. Основные эксплуатационные требования к топливам, структура, физические и химические свойства, оценка склонности к самовоспламенению. Перспективы использования синтетических, газовых, растительных топлив и водотопливных эмульсий. Токсические компоненты дизельных и бензиновых ДВС. Процессы воспламенения и сгорания топлива в дизелях. Фазы процесса сгорания. Методы исследования, индикаторные диаграммы, осциллограммы процесса топливоподачи, аналитические и экспериментальные соотношения для расчета процессов воспламенения и сгорания. Пути совершенствования процесса сгорания топлива в дизелях различного назначения. Термохимические соотношения для процесса сгорания углеводородных топлив. Теоретически необходимое и действительное количество воздуха в процессе сгорания. Состав и количество продуктов сгорания, коэффициенты молекулярного изменения. Влияние химического состава и температуры на теплоемкость и показатель адиабаты рабочего тела, расчетные соотношения для теплоемкостей в произвольный момент рабочего процесса. Факторы, определяющие тепловой эффект реакции горения. Коэффициенты выделения и использования теплоты. Уравнение сгорания, определение максимального давления и максимальной температуры цикла. Процесс расширения продуктов сгорания в цилиндре ДВС. Связь между параметрами рабочего тела на линиях сжатия и горения-расширения. Особенности реального процесса расширения. Определение осредненного показателя политропы расширения с учетом догорания топлива, расчет процесса расширения; параметры, влияющие на ход процесса расширения. Работа процесса расширения.

**Системы наддува ДВС.** Особенности процесса выпуска в четырех- и двухтактных двигателях. Коэффициент продувки, коэффициент остаточных газов, суммарный коэффициент избытка воздуха. Определение давления и температуры рабочего тела рабочего тела в выпускном коллекторе. Понятие о диаграмме время-сечение органов газообмена. Наддув дизелей: назначение, основные понятия. Основные способы организации системы наддува: механический, газотурбинный, комбинированный, двухступенчатый, регистровый. Типы турбокомпрессоров и воздухоохладителей. Силовые газовые турбины. Способы использования энергии отработавших газов в турбине: изобарный и импульсный способы. Факторы, определяющие эффективность турбокомпрессоров. Особенности наддува двухтактных дизелей. Определение абсолютных и относительных значений мощности компрессора и газовой турбины, обеспечение баланса мощностей компрессора и турбины.

**Индикаторные и эффективные показатели ДВС.** Индикаторные показатели двухтактных и четырехтактных дизелей: индикаторная работа цикла, среднее индикаторное давление, работа термодинамического цикла. Индикаторная мощность, индикаторный расход топлива, индикаторный КПД ДВС, факторы, влияющие на индикаторные

показатели. Составляющие и величина механических потерь. Эффективные показатели ДВС: механический КПД поршневого двигателя, механический КПД агрегатированного комбинированного двигателя. Среднее эффективное давление, эффективная мощность, эффективный КПД, удельный эффективный расход топлива. Критерии уровня форсирования  $z_{Pe}$ ,  $z_{Pest}$ , цилиндровая, поршневая и литровая мощность. Факторы, определяющие мощность, экономичность и экологические показатели дизелей.

**Процессы смесеобразования и горения в цилиндре ДВС.** Физические, термодинамические и газодинамические явления в процессе смесеобразования. Неразделенные камеры сгорания: распределение воздушного заряда, поле скоростей заряда в конце процесса сжатия и в начале расширения, взаимодействие топливных струй с вращающимся зарядом и с поверхностями камеры сгорания. Особенности процесса смесеобразования в полуразделенных камерах сгорания. Типы и особенности процессов в разделенных камерах сгорания. Теплофизические явления в период задержки самовоспламенения, цетановое число. Определение максимальных значений давления и температуры цикла по методикам ЦНИДИ, К.Н. Коптева и других исследователей. Расчет процесса сгорания по методике И.И. Вибе, Б.П. Пугачева. Способы управления процессом горения. Влияние характеристики выгорания топлива и диссоциации на показатели расчетного цикла.

**Процессы теплопередачи в цилиндре ДВС.** Виды и направление теплопередачи в цилиндре в различных стадиях рабочего процесса двухтактных и четырехтактных ДВС. Способы организации систем охлаждения цилиндро-поршневых групп дизелей. Эмпирические методы определения коэффициента теплоотдачи в цилиндре, формулы В. цикла. Процессы теплопередачи в цилиндре ДВС. Виды и направление теплопередачи в цилиндре в различных стадиях рабочего процесса двухтактных и четырехтактных ДВС. Способы организации систем охлаждения цилиндро-поршневых групп дизелей. Эмпирические методы определения коэффициента теплоотдачи в цилиндре, формулы В. Нуссельта, Н.Р. Бриллинга, Г. Эйхельберга, В. Пфлаума, Г.Б. Розенблита, Г. Вошни. Методы определения коэффициентов теплоотдачи с внешней стороны цилиндра и крышки цилиндра. Способы охлаждения поршней, определение коэффициента теплоотдачи от поршня к охлаждающей среде. Средняя результирующая температура рабочего тела. Тепловой поток и температура на поверхности поршня, крышки цилиндра и цилиндровой втулки.

**Особенности рабочих процессов ДВС с искровым зажиганием.** Двигатели с искровым зажиганием: области применения, особенности конструкций и регулирования мощности, основные требования, параметры и показатели, направления совершенствования. Рабочие процессы ДВС с искровым зажиганием: карбюраторных, с впрыскиванием бензина, газовых. Системы наддува. Характеристики и эксплуатационные режимы работы. Жидкие и газообразные топлива для ДВС с искровым зажиганием: физико-химические и эксплуатационные свойства, элементный состав, молекулярная масса, октановое число, методы его определения, антидетонационные присадки. Реакции и продукты сгорания топлива, стехиометрическое и действительное количество воздуха для сгорания, коэффициент избытка воздуха и его минимальное значение. Состав и количество свежего заряда. Особенности процессов смесеобразования и сгорания в двигателях с искровым зажиганием. Системы зажигания. Алгоритм расчетов рабочих циклов ДВС с искровым зажиганием: выбор и согласование исходных данных, расчет процессов наполнения цилиндра и сжатия. Уравнение сгорания и определение максимальной температуры цикла с учетом неполноты сгорания при  $\alpha < 1$ , расчет процесса расширения.

**Тепловой баланс и характеристики поршневых ДВС.** Тепловой баланс в абсолютном, удельном и относительном исчислении. Примеры тепловых балансов современных двигателей различного назначения. Вторичные энергоресурсы современных дизельных установок. Режимы работы дизелей различного назначения, классификация характеристик. Поле возможных режимов работы. Скоростные характеристики: ограничительная, винтовая, внешние, регуляторные, тепловозные. Нагрузочные

характеристики. Регулируемые, универсальные, характеристики совместной работы дизеля и ТК, характеристики токсичности.

**Периоды процессов газообмена в двухтактных и четырехтактных ДВС.** Этапы развития механизмов газораспределения, систем газообмена и воздухообмена. Фазовые диаграммы двухтактных и четырехтактных ДВС. Способы организации продувки в двухтактных ДВС. Параметры и показатели рабочего цикла двигателя, относящиеся к процессам газообмена. Параметры и показатели, характеризующие качество процессов газообмена. Надкритический выпуск, подкритический выпуск, предварение выпуска, дозарядка, потеря заряда. Последовательность процессов газообмена в двухтактных ДВС. Характер изменения давления в цилиндре и в смежных системах. Особенности газообмена в двигателях с контурными системами продувки. Особенности газообмена в двигателях с прямооточными системами продувки. Последовательность процессов газообмена в четырехтактных ДВС. Характер изменения давления в цилиндре и в смежных системах.

**Диаграмма «время-сечение».** Условия работы впускных и выпускных клапанов. Особенности конструкции органов газораспределения двухтактных и четырехтактных ДВС: распределительные валы и кулачковые шайбы, плоский и роликовый толкатели, штанги, коромысла, клапаны, направляющие втулки, седла, устройства вращения клапанов, впускной и выпускной патрубки, впускные и выпускные окна. Мероприятия, обеспечивающие работу клапанов в тяжелых условиях. Механизмы, обеспечивающие силовое замыкание механизма. Клапанные пружины. Особенности конструкции и условий работы. Зазор в механизме привода клапанов. Механизмы для регулировки зазора в клапанах, компенсаторы зазора, гидротолкатели. Эксплуатационные факторы, влияющие на величину зазора, влияние величины зазора на параметры и показатели ДВС. Профилирование кулачковых шайб. Ударные и безударные профили: гармонический, тангенциальный, выпуклый, вогнутый, по методу «полидайн», по методу Курца. Участок сбегания кулачковой шайбы. Виды механизмов привода клапанов. Передаточное отношение механизма привода клапана. Метод определения площади узкого сечения в клапанных каналах. Построение диаграммы «время-сечение» для окна графическим способом. Масштабы диаграммы «время-сечение». Аналитические методы определения величины время-сечение процесса для окна. Построение диаграммы «время-сечение» для клапана. Масштабы диаграммы «время-сечение». Вид диаграммы «время-сечение» для двухтактного и четырехтактного ДВС. Характерные виды диаграммы «время-сечение» для двухтактных ДВС с различными видами продувки. Влияние эксплуатационных факторов на форму и диаграммы «время-сечение».

**Основные уравнения для расчета процессов впуска и выпуска.** Процесс выпуска: постановка задачи, исходные положения. Система уравнений, описывающих движение рабочего тела в процессах газообмена: уравнение состояния рабочего тела, уравнение неразрывности потока, уравнение сохранения энергии для потока рабочего тела, уравнение адиабатного процесса. Допущения и упрощения при выводе соотношений для процесса «свободный выпуск». Влияние впускной системы на процессы газообмена, конструкция впускных патрубков. Влияние выпускной системы на процессы газообмена, конструкция патрубков и коллекторов. Функция истечения, коэффициент истечения. Факторы, определяющие величину коэффициента истечения. Вывод соотношений для расчета процесса свободный выпуск в двухтактных ДВС. Вывод соотношений для расчета процессов надкритический и подкритический выпуск в четырехтактных ДВС. Критические параметры. Учет инерции потока рабочего тела на величину критического давления. Расчетные соотношения для процесса выталкивания для четырехтактного ДВС. Расчетные соотношения для процесса всасывания для четырехтактного ДВС. Процесс продувки: гипотезы полного перемешивания, послойного вытеснения, эвристическая гипотеза А.С. Орлина. Диффузия в процессе продувки. Зонная модель продувки двухтактного ДВС. Согласование параметров в цилиндре и смежных системах в период продувки двухтактного ДВС. Расчетные соотношения для процесса продувки для четырехтактного ДВС. Длительность периода задержки рабочего тела при продувке четырехтактного ДВС.

Расчетная оценка величины коэффициента продувки. Средние условные скорости истечения рабочего тела в процессах выпуска, продувки и наполнения.

**Расчет параметров и показателей качества газообмена в двухтактных ДВС.** Определение параметров в начальной точке. Построение диаграммы «время-сечение» с учетом зазора между втулкой и поршнем, высоты головки поршня, радиусов скругления окон, профиля на участке сбег и величины зазора в клапанном механизме. Методика расчета надкритического выпуска. Определение величины критического давления в цилиндре и длительности процесса. Методика расчета подкритического выпуска. Определение параметров в цилиндре, соответствующих точке предварения выпуска. Оценка величины давления предварения выпуска. Расчет длительности заброса газов в воздушный ресивер. Массовый баланс процессов газообмена. Определение величины давления в процессе продувки. Оценка величины коэффициента продувки. Расчет процессов дозарядка и потеря заряда. Расчет потери работы цикла в период свободного выпуска. Определение коэффициента скругления индикаторной диаграммы. Расчет средних условных скоростей процессов свободного выпуска, принужденного выпуска и впуска.

**Расчет параметров и показателей качества газообмена в четырехтактных ДВС.** Определение параметров в начальной точке. Построение диаграммы «время-сечение» с учетом профиля на участках сбег и величины зазоров в клапанных механизмах. Методика расчета надкритического выпуска. Определение величины критического давления в цилиндре и длительности процесса. Методика расчета подкритического выпуска. Определение параметров в цилиндре, соответствующих нижней мертвой точке. Оценка величины давления в нижней мертвой точке. Оценка длительности процесса. Расчет процесса выталкивания. Расчет процесса наполнения. Расчет процесса продувки. Оценка величины коэффициента продувки и периода задержки рабочего тела в камере сгорания. Построение индикаторной диаграммы процессов газообмена. Определение величины потери работы цикла в процессах свободного выпуска, выталкивания, продувки и наполнения. Определение коэффициента скругления индикаторной диаграммы. Расчет средних условных скоростей процессов свободного выпуска, выталкивания и впуска. Пути повышения эффективной мощности, экономичности и снижения токсических показателей дизелей.

## 2.2. Конструирование двигателей внутреннего сгорания.

Проектирование – творческий процесс. Этапы проектирования. Требования к проектным задачам. Место конструирования в общем процессе проектирования двигателей внутреннего сгорания.

**Общие сведения о расчетах.** Место и роль расчетов в общей проблеме проектирования двигателей внутреннего сгорания. Характеристики расчетных эксплуатационных режимов. Цель и особенности расчетов прочности, жесткости, долговечности и износостойкости.

**Методические основы расчета на статическую прочность.** Напряженное состояние детали. Главные напряжения. Теории прочности. Определение допускаемых напряжений. Концентраторы напряжений.

**Метод конечных элементов.** Теоретические положения метода конечных элементов. Разновидности конечных элементов, их матрицы жесткости. Конечноэлементные модели, генерация сетки конечноэлементной модели. Основные уравнения метода конечных элементов. Программный комплекс ANSYS.

**Методические основы расчета на выносливость.** Явление усталости материала. Циклы переменных напряжений. Определение предела выносливости. Диаграммы предельных напряжений и амплитуд. Расчетные зависимости для коэффициентов запаса прочности.

**Прогнозирование долговечности по критерию усталостной прочности.** Законы распределений прочности и напряжений. Вероятность отсутствия появления усталостных трещин и соответствующее ей минимальное значение коэффициента запаса прочности.

Формулы для коэффициента запаса прочности при различных композициях плотностей прочности и напряжений. Гипотеза линейного суммирования повреждений. Формула для определения долговечности детали. Оценка долговечности деталей с трещиной.

**Оценка долговечности деталей по критерию износа.** Кривые износа и скорости изнашивания. Установление установочного и предельно допустимого зазоров в подшипнике. Уравнения динамики износа. Вывод формул для математического ожидания и среднего квадратичного отклонения долговечности подшипников.

**Коленчатый вал двигателей внутреннего сгорания.** Конструктивные особенности и соотношения коленчатых валов ДВС. Материалы коленчатых валов. Технология получения заготовок и поверхностного упрочнения. Условия нагружения коленчатых валов. Расчетные схемы.

**Расчет коленчатого вала на выносливость.** Методические основы расчета на выносливость. Расчет на выносливость коренной (рамовой) шейки, шатунной шейки и щек. Коэффициенты концентрации напряжений на краях масляных отверстий и в галтелях. Расчет коленчатого вала по Правилам морского регистра.

**Расчет прессового соединения составных коленчатых валов.** Определение контактных давлений и натяга в соединении рамовой шейки со щеками. Горячая посадка прессового соединения. Проверка прочности прессового соединения.

**Подшипники коленчатых валов.** Конструктивные особенности подшипников. Антифрикционные материалы. Диаграммы, характеризующие нагруженность подшипников коленчатого вала. Гидродинамический расчет подшипников. Оценка долговечности подшипников коленчатых валов по критерию износа. Факторы, влияющие на долговечность подшипников коленчатого вала.

**Детали шатунной группы.** Конструктивные особенности и соотношения шатунов тронковых и крейцкопфных двигателей. Условия нагружения шатунов. Схемы кривошипно-шатунных механизмов рядных и V-образных ДВС. Материалы шатунов и их составляющих деталей. Технология получения заготовок и поверхностного упрочнения.

**Расчет верхней головки шатуна на выносливость.** Расчетные схемы верхней головки шатуна. Расчет верхней головки шатуна на растяжение и сжатие. Оценка дополнительных напряжений от запрессовки втулки и нагрева головки. Определение экстремальных напряжений и коэффициентов запаса прочности. Оценка нагруженности головного (крейцкопфного) подшипника. Проверка головки на жесткость.

**Расчет стержня шатуна на выносливость.** Расчет стержня шатуна на растяжение, сжатие и продольный изгиб. Определение коэффициентов запаса прочности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Условие равнопрочности стержня шатуна.

**Расчет кривошипной головки шатуна на выносливость.** Расчетная схема головки. Условие нагружения кривошипной головки. Допущения и расчет на выносливость. Проверка головки на жесткость.

**Расчет шатунных болтов.** Определение усилия предварительной затяжки шатунных болтов из условия нераскрытия стыка и отсутствия сдвига. Проектный расчет шатунных болтов. Расчет болтов на выносливость. Коэффициенты концентрации напряжений для шатунного болта.

**Крейцкопфный механизм.** Назначение, состав и конструктивные особенности деталей крейцкопфного механизма. Расчеты поршневого штока, поперечины и ползунов на прочность, жесткость и износостойкость.

**Детали поршневой группы.** Конструктивные особенности и соотношения поршней тронковых и крейцкопфных двигателей. Оценка теплонапряженности поршня. Способы охлаждения поршня. Конструкции цельных и составных поршней. Материалы и способы получения заготовок. Технологии повышения износостойкости поршней.

**Определение температурного состояния поршня.** Определение коэффициентов теплоотдачи от газов и в охлаждающую среду. Уравнения теплопередачи, допущения при их использовании. Определение температурных полей поршня от осевого и радиального тепловых потоков.



**Расчет днища поршня.** Расчетные схемы днища поршня. Определение механических напряжений в днище поршня. Определение температурных напряжений от осевого и радиального изменения температур. Вычисление эквивалентных напряжений и проверка условия прочности.

**Проверочные расчеты цилиндрической части поршня.** Проверка на прочность стенки головки поршня. Расчет перемычки между канавками для поршневых колец. Проверка тронка поршня на износостойкость. Расчет шпилек для составного поршня.

**Поршневой палец.** Конструктивные особенности и соотношения для поршневого пальца. Условия обеспечения работы плавающего поршневого пальца. Материалы и технология поверхностного упрочнения пальца. Расчет поршневого пальца на изгиб, срез и овализацию. Оценка износостойкости поршневого подшипника.

**Поршневые кольца.** Особенности конструкций газоплотнительных и маслосъемных поршневых колец. Механизм уплотняющего действия колец. Эпюры радиальных давлений. Технология получения кольца с заданной эпюрой давления. Материалы и способы упрочнения поршневых колец. Проектные расчеты кольца с желаемой эпюрой радиальных давлений. Проверочные расчеты поршневого кольца.

**Цилиндровая втулка.** Особенности конструкции и конструктивные соотношения для цилиндрических втулок. Типы цилиндрических втулок ДВС. Материалы и способы повышения износостойкости. Смазка цилиндрических втулок.

**Определение температурного состояния цилиндрических втулок.** Коэффициенты теплоотдачи для цилиндрической втулки и особенности их определения. Уравнения передачи теплоты от газов в охлаждающую жидкость. Определение температурного состояния цилиндрического пояса втулки.

**Расчет цилиндрической втулки.** Расчетные схемы цилиндрических втулок. Определение механических и температурных напряжений. Расчет цилиндрической втулки на жесткость и колебания. Расчет опорного фланца и газового стыка.

**Головка цилиндра.** Особенности конструкции и конструктивные соотношения для головок тронковых и крейцкопфных ДВС. Требования к конструкции головки. Материалы и способы получения заготовок.

**Расчет головки цилиндра на прочность и жесткость.** Условия нагружения головки цилиндра. Конечноразностные и макромеханические модели головок и алгоритмы их применения для определения напряженно-деформированного состояния. Расчет шпилек крепления головки цилиндра.

**Детали остова.** Состав и конструктивные схемы остова ДВС. Особенности конструкции остова рядного и V-образного двигателя. Требования к конструированию. Материалы и способы получения заготовок.

**Расчет на прочность и жесткость деталей остова.** Условия нагружения и расчетные модели остова. Конечноразностные модели деталей остова. Расчет остаточной долговечности остова при наличии трещин. Расчет анкерных шпилек.

**Основные конструктивные параметры газораспределительного механизма.** Назначение механизма газораспределения. Кинематические схемы. Привод распределительного вала. Передаточное отношение клапанного механизма. Конструкции клапанного узла. Конструктивные соотношения для клапана.

**Профилирование кулачных шайб.** «Время-сечение» клапана. Профилирование выпуклого, тангенциального, вогнутого и безударного кулака. Кинематические зависимости для кулаков, работающих с плоским и роликовым толкателем.

**Динамика клапанного механизма.** Уравнение динамики клапанного механизма. Силы давления газов, силы инерции и силы упругости пружины. Алгоритм их определения. Определение усилий, нагружающих детали клапанного механизма и кулачные шайбы.

**Расчет деталей газораспределительного механизма.** Особенности конструкции и конструктивные соотношения для распределительного вала. Схема заклинивания кулаков на распределительном вале. Определение набегающих моментов для распределительного вала. Расчеты на выносливость и жесткость распределительного вала. Проверка кулаков на

контактные напряжения. Конструктивные исполнения клапанных пружин. Материалы, способы упрочнения. Проектный расчет клапанной пружины. Расчет пружины на выносливость и колебания. Конструктивные особенности плоских и роликовых толкателей. Материалы и способы упрочнения. Проверка толкателя на изгиб, срез и на износостойкость. Конструктивные особенности штанги. Материалы и способы упрочнения. Проверка штанги на устойчивость. Определение контактных напряжений в наконечниках штанги.

Основные требования компоновки двигателей внутреннего сгорания.

### 2.3. Системы двигателей.

Назначение систем двигателя, их функции, как неотъемлемых частей двигателя, влияющих на надежность, экономичность, ресурс.

**Системы охлаждения ДВС.** Системы охлаждения судовых МОД (цилиндров, поршней, форсунок, наддувочного воздуха, масла). Системы охлаждения СОД и ВОД, работающих на тяжелых и легких сортах топлива, высокотемпературные и низкотемпературные контуры. Системы охлаждения тепловозных ДВС (работа системы при низких температурах, на долевых режимах). Системы охлаждения автотракторных ДВС, жидкостная и воздушная системы охлаждения. Насосы, используемые для перемещения охлаждающей жидкости, вентиляторы радиаторов. Теплообменники, конструкции, назначение, расчет. Радиаторы, конструкции и расчет. Расчет систем охлаждения, тепловые балансы двигателей различных типов и назначений.

**Масляные системы ДВС.** Типы масляных систем, достоинства, недостатки. Масляные системы МОД (циркуляционные, лубрикаторные, гравитационные). Масляные системы СОД и ВОД. Масляные системы тепловозных и автотракторных двигателей. Виды трения, характерные для сопряженных деталей двигателей, износ деталей ДВС. Пути расходования: масла на угар, на замену. Угар - течение через замки колец, насосное действие, по стенке цилиндра. Расчет масляной системы. Насосы, протоки масла, запас масла в системе.

**Пусковые системы ДВС.** Процесс пуска ДВС, условия, мощность пускового устройства. Типы систем пуска судовых ДВС, воздушный, стартерный. Типы пусковых систем автотракторных двигателей: стартерный, инерционный, пусковой двигатель и т.д. Устройства, облегчающие пуск двигателей (подогреватели охлаждающей жидкости, воздуха, масла, топлива и т.д.). Системы пуска, расчет запасов воздуха, мощность пускового устройства.

**Системы реверсирования.** Реверсивные двигатели, процессы при реверсировании (контрвоздух, реверс топливоподачи, газораспределения, пускового воздуха). Механизмы и устройства реверса. Устройства, обеспечивающие изменение направления вращения вала потребителя (реверс-редуктор, реверс-муфта, коробка передач, гидромуфта и т.д.).

**Расчет элементов систем.** Параметры теплоносителей, которые используются в ДВС. Статьи теплового баланса, определение теплоты, отводимой в системе охлаждения. Расчетная схема, определение потребных расходов теплоносителей, их температур в узловых точках.

**Центробежный насос, струйная теория.** Расчет рабочего колеса насоса, построение треугольников скоростей, меридианного сечения колеса и колеса в плане. Проверка кавитационных свойств колеса насоса. Расчет и проектирование спирального отвода насоса. Расчет вентилятора для обдува радиатора. Критерии подобия, средние логарифмические температуры. Расчет и проектирование кожухотрубчатого теплообменника. Конструкция пластинчатого теплообменника. Расчет и проектирование радиатора. Оценка необходимости установки масляного радиатора, определение теплоты, которая рассеивается в картере двигателя.

### 2.4. Колебания и амортизация элементов судовых энергетических установок.

Общие понятия о крутильных колебаниях. Особенности расчета и составление

**расчетной модели.** Методы расчета свободных крутильных колебаний. Расчет вынужденных крутильных колебаний судового валопровода. Способы борьбы с крутильными колебаниями. Методы измерения крутильных, изгибных и осевых колебаний судового валопровода. Анализ результатов измерений. Общие понятия об осевых колебаниях судового валопровода. Особенности расчета и составление расчетной модели. Методы расчета свободных осевых колебаний. Расчет вынужденных осевых колебаний судового валопровода. Общие сведения о связанных колебаниях судового валопровода.

**Амортизация ДВС. Основные критерии оценки вибрации и шума, их контроль и нормирование.** Причины, приводящие к излучению значительного шума и вибрации в поршневых ДВС. Гармоническое колебание. Круговая (угловая) частота собственных колебаний. Техническая частота. Связь между круговой и технической частотами колебаний. Волновой процесс. Скорость продвижения волны для твердых тел и газообразных сред. Скорость звука в воздухе. Волновое сопротивление среды. Уровень силы звука. Оценка виброактивности. Виброскорость, виброускорение. Логарифмические уровни виброперемещения, виброскорости, виброускорения. Кривые равной громкости шума. Октавные и треть октавные частотные полосы. Частотные спектры. Точки измерения вибрации дизеля, генератора и турбокомпрессора. Формула для определения общего уровня шума одновременно работающих нескольких двигателей и механизмов. Допускаемые уровни шума для некоторых помещений.

**Борьба с шумом и вибрацией судовых механизмов.** Основные источники колебаний двигателей. Пути распространения шума и комплекс противошумовых мероприятий. Основные причины колебания дизеля как единого целого с частотами, соответствующими низшим гармоникам частоты вращения. «Активные» и «пассивные» способы снижения вибрации и шума. Звукоизолирующие капоты, щиты и материалы для облицовки стен, глушители шума, демпфирующие материалы.

**Виброизоляция дизельных энергетических установок.** Назначение виброизоляции. Опорные и неопорные упругие связи. Конструктивные материалы по снижению шумности. Назначение, типы и основные характеристики виброизоляторов. Резиновые элементы, пружины, сетчатые виброизоляторы, жидкостные виброизоляторы, канатные (тросовые) виброизоляторы, комбинированные виброизоляторы. Общая или полная, местная или частичная виброизоляция.

**Основы теории расчета виброизоляции.** Свободные колебания виброизолированного механизма. Вынужденные колебания виброизолированного механизма. Расчет частот свободных колебаний. Нагрузка на виброизоляторы и число виброизоляторов. Деформация виброизоляторов. Проверка на качку. Испытание виброизоляции. Экспериментальные исследования виброакустических характеристик установок с ДВС. Методика обработки и анализа экспериментальных исследований.

## 2.5. Судовые пропульсивные установки с двигателями внутреннего сгорания.

**Состав и свойства пропульсивного комплекса судна.** Элементы пропульсивного комплекса (ПК). Основные величины, характеризующие взаимодействие элементов ПК. Характеристики корпуса судна как элемента ПК. Геометрические и режимные параметры гребного винта. Понятия «абсолютная поступь», «скольжение» и «относительная поступь» гребного винта. Гидродинамическая схема действия элемента лопасти гребного винта. Сила упора и момент, противодействующий вращению элемента лопасти гребного винта. Характеристика коэффициента обратного качества элемента лопасти гребного винта. Вывод формул упора гребного винта и момента, противодействующего вращению гребного винта. Коэффициенты упора и момента. КПД гребного винта. Кривые действия винта. Режимы работы гребного винта. Кривые действия гребных винтов с различными шаговыми отношениями. Области применения указанных винтов. Пропульсивный коэффициент. Понятие, формула, учет «засасывания» и «попутного потока».

**Характеристики главного двигателя как элемента пропульсивного комплекса.**

Внешняя, винтовая, нагрузочная и регуляторная характеристики судового дизеля. Характеристики минимальной устойчивой частоты вращения и минимальной мощности при длительной работе. Поле допустимых режимов работы судового дизеля.

**Паспортная диаграмма пропульсивного комплекса судна.** Состав и взаимосвязь характеристик паспортной диаграммы ПК. Паспортная диаграмма СДУ с прямой передачей и ВФШ. Примеры использования паспортной диаграммы ПК в практике эксплуатации судна. Анализ работы СДУ в различных условиях эксплуатации с использованием паспортной диаграммы ПК: многовальной СДУ с ВФШ при отключении части валов; главного двигателя по регуляторной характеристике при изменяющейся характеристике корпуса судна; пропульсивного комплекса по винтовым характеристикам постоянной скорости судна.

**Судовые дизельные установки с прямой передачей.** Состав и основные элементы СДУ с прямой передачей. Назначение, принципиальные схемы. Достоинства, недостатки и области применения СДУ с прямой передачей. Принципы выбора главного двигателя при прямой передаче мощности на гребной винт. Тип главного двигателя при прямой передаче и основные тенденции изменения параметров современных малооборотных двигателей (МОД). Работа СДУ с прямой передачей в различных условиях эксплуатации: при страгивании с места; при «ступенчатом» и «экстренном» разгонах судна; при активном торможении и реверсировании судна; при циркуляции судна; при плавании судна в штормовых условиях.

**Судовые дизельные установки с редукторной передачей.** Состав и основные элементы СДУ с редукторной передачей. Назначение, принципиальные схемы. Достоинства, недостатки и области применения дизель-редукторных установок. Принципы выбора главного двигателя для работы в составе дизель-редукторного агрегата. Типы судовых редукторов. Методика выбора судового редуктора. Реверс-редукторная передача. Паспортная диаграмма пропульсивного комплекса СДУ с редукторной передачей. Работа СДУ с редукторной передачей в различных условиях эксплуатации: применение многоскоростного редуктора в СДУ; парциальная работа судовой многомашинной дизель-редукторной установки; работа судовой дизель-редукторной установки с соединительно-разобщительной муфтой при страгивании с места, разгоне и реверсировании судна.

**Судовые дизельные установки с различными типами движителей.** Дизельные установки с гребными винтами фиксированного и регулируемого шага. Их конструктивные особенности, основные свойства и области применения. Условия работы главного двигателя при гребных винтах фиксированного и регулируемого шага. Эксплуатационные характеристики СДУ с винтами различных типов, способы управления установкой. Особенности СДУ с водометными и крыльчатými движителями.

**Судовые дизельные установки с гидравлической и электрической передачами.** Разновидности гидравлической судовой гидравлической главной передачи. Принцип действия, схема, основные свойства и характеристики гидромуфты и гидротрансформатора в составе гидродинамической передачи. Разновидности электрической судовой главной передачи. Основные свойства СДУ с электропередачей, характеристики, способы управления установкой. Тенденции и перспективы развития судовых дизельных энергетических установок. Способы повышения безотказности и экономичности судовых пропульсивных установок.

## 2.6. Агрегаты наддува двигателей.

**Современные конструктивные типы турбокомпрессоров.** Отечественные и зарубежные турбокомпрессоры двигателей внутреннего сгорания, масштабный коэффициент, типоразмерные ряды. Обозначение типоразмера турбокомпрессора по ГОСТ 9658-66.

**Теория и методика расчета центробежного компрессора.** Расчет процессов во входном устройстве центробежного компрессора. Расчет параметров на входе в компрессор. Расчет процессов в рабочем колесе центробежного компрессора. Внутренняя работа по уравнению Эйлера. Коэффициент напора, коэффициент мощности, коэффициент расхода.

Расчет параметров на выходе из колеса. Сведения о реальном течении воздуха в межлопаточном канале рабочего колеса центробежного компрессора. Модель струя-след. Конструктивные меры для повышения к.п.д. рабочего колеса. Особенности профилирования рабочих колес с радиальными и загнутыми назад лопатками. Расчет процессов в диффузорах и улитке. Безлопаточный диффузор. Модель течения воздуха в безлопаточном диффузоре. Расчет параметров на выходе. Конструктивные соотношения. Лопаточный диффузор. Построение средних линий лопаток. Угол раскрытия канала. Расчет параметров на выходе. Конструктивные соотношения. Улитка. Представление о течении воздуха в улитке. Конструктивные соотношения. Расчет параметров на выходе.

**Основные принципы расчета газовой турбины.** Треугольники скоростей, определение крутящего момента и работы на окружности колеса по уравнению Эйлера. Диаграмма  $i-s$  газовой турбины. Степень реактивности. Определение скоростей газов на выходе из соплового аппарата и рабочего колеса по уравнению энергии в тепловой форме. Скоростной коэффициент. КПД турбинной ступени: окружной, внутренний, механический, эффективный. Основные безразмерные параметры турбины и режима ее работы. Эквивалентное проходное сечение. Особенности работы турбины в пульсирующем потоке газов. Уравнения совместной работы турбины и компрессора.

**Конструкция, теория и методика расчета охладителей наддувочного воздуха.** Поверхностные воздухоохладители. Цели и возможности охлаждения воздуха в ДВС различного назначения. Классификация систем охлаждения. Конструктивные особенности и соотношения, типы теплообменных поверхностей, особенности охладителей автомобильных двигателей с наддувом. Основы теплового и гидравлического расчетов поверхностных воздухоохладителей, критериальные зависимости, параметры теплоносителей, оценочные показатели.

**Системы наддува и их характеристики.**

**Характеристики центробежных компрессоров ДВС.** Характеристики нормальные, универсальные, напорные. Критерии и параметры подобия. Использование характеристик при доводке двигателя и агрегатов наддува. Диапазон центробежного компрессора по расходу воздуха, запас по помпажу, режимы запыления. Сопоставление с диапазонами двигателя по расходу воздуха. Способы расширения диапазона компрессора по расходу воздуха.

**Характеристики газовых турбин турбокомпрессоров ДВС.** Характеристики турбин нормальные и универсальные в параметрах подобия. Модификации осевых и радиальных турбин по размерам проточной части, углам установки в сопловых и рабочих решетках. Влияние на КПД и пропускную способность ступени. Проблемы регулирования.

**Характеристики компрессоров объемного типа.** Роторно-лопастные, спиральные и винтовые компрессоры. Особенности конструкции и работы, конструктивные соотношения. Коэффициент подачи, производительность, КПД и мощность. Характеристики. Область использования. Особенности конструкции и работы. Производительность, КПД и мощность. Характеристики. Область использования. Компрессоры.

**Поршневые компрессоры и подпоршневые полости кривокопных ДВС.** Конструктивные схемы и соотношения. Производительность, КПД и мощность. Характеристики. Область применения.

**Расходные характеристики четырехтактных и двухтактных ДВС.** Совмещение расходных характеристик ДВС и компрессора. Область рабочих режимов двигателя, оценка давления наддува с учетом типа двигателя и уровня форсирования.

**Согласование характеристик двигателя и агрегатов наддува.** Способы согласования характеристик двигателя и агрегатов наддува в процессе доводки. Настройка агрегатов наддува дизельгенераторов и промышленных ДВС, работающих по нагрузочной характеристике. Согласование характеристик агрегатов наддува и судовых двигателей, работающих на гребной винт фиксированного или регулируемого шага. Особенности настройки агрегатов наддува автомобильных двигателей с учетом требований по моменту и мощности, ходовым качествам. Схема наддува с перепуском газов, с регулированием

турбины.

**Регулирование агрегатов наддува.** Переходные режимы ДВС, требования к агрегатам. Способы улучшения показателей и характеристик двигателя на переходных режимах. Способы регулирования агрегатов наддува, возможности регулирования компрессора, воздухоохладителя, газовой турбины; их влияние на характеристики двигателя. Регулируемые турбокомпрессоры, возможности и перспективы.

## 2.7. Исследования и испытания судовых двигателей внутреннего сгорания.

Цель испытаний двигателей. Основные величины, определяемые при испытании двигателей. Методы проведения испытаний ДВС. Назначение и виды испытаний ДВС, проведение испытаний, требования к измерительным средствам и точности испытаний.

**Основы теории и практики измерений измерительных приборов и обработка результатов наблюдений.** Краткие сведения об измерениях и измерительных приборах, погрешности измерений, построение графиков по данным наблюдений, обработка и анализ экспериментальных данных.

**Применение электрических измерительных систем общего назначения при исследовании двигателей.** Возможности автоматизации информационных процессов. Преобразование неэлектрических величин в электрические. Датчики, промежуточные звенья измерительных систем. Согласование характеристик звеньев измерительных систем.

**Определение мощности двигателя, измерение скорости вращения и времени.** Общие сведения, измерение крутящего момента двигателя. Механические тормоза. Гидравлические и электрические тормоза. Индукторные тормоза. Условия совместной устойчивой работы двигателя и тормоза. Тахометр, тахоскопы и тахографы. Измерение времени.

**Измерение давлений и температуры, расходов жидкостей и газов.** Общие сведения. Жидкостные манометры. Микроманометры, дифференциальные электромеханические манометры. Пружинные манометры. Барометры. Погрешности манометров. Измерение давлений в потоках. Жидкостные термометры, монометрические термометры, термометр сопротивления, термоэлектрические термометры (парометры). Измерение температуры в емкостях и потоках. Измерение температуры деталей двигателей. Измерение расхода воздуха и топлива.

**Определение токсичности и дымности двигателей.** Назначение и методы анализа газов, отбор проб газа. Способы выражения концентрации компонентов газовой смеси. Применение анализа газов для оценки использования воздуха и топлива в двигателях. Испытания двигателей на токсичность. Измерение дымности отработавших газов.

**Характеристики двигателей.** Общие сведения. Скоростные характеристики, нагрузочные характеристики, регулировочные характеристики. Сопоставление результатов испытаний. Общие требования к лабораторным двигателям. Испытательные установки. Примеры планировок лабораторий.

## 8 Регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания.

Цели и задачи автоматизации двигателей внутреннего сгорания. Составляющие системы автоматизации. Степени автоматизации двигателей внутреннего сгорания. Знаки автоматизации судовых дизельных установок. Принципы регулирования частоты вращения и температуры двигателей внутреннего сгорания.

**Режимы и характеристики двигателей внутреннего сгорания.** Понятие о режимах работы и характеристиках двигателей внутреннего сгорания. Частичные, ограничительные, регуляторные, винтовые и нагрузочные характеристики. Эксплуатационные режимы работы двигателей внутреннего сгорания. Устойчивые и неустойчивые режимы. Фактор устойчивости режима работы двигателя внутреннего сгорания.

**Классификация регуляторов частоты вращения двигателей внутреннего сгорания.** Однорежимные, двухрежимные и многорежимные регуляторы частоты вращения, область их

применения. Предельный регулятор и предельный выключатель. Статические и астатические регуляторы частоты вращения. Регуляторы прямого и непрямого действия. Одноимпульсные и многоимпульсные регуляторы. Электронные регуляторы.

**Структурная, принципиальная и конструктивная схемы регуляторов прямого действия.** Принцип работы регулятора прямого действия. Статическая ошибка регуляторов прямого действия. Способы настройки регулятора на заданные частоту вращения и степень неравномерности. Требования к настройке регулятора на заданную степень неравномерности.

**Структурная, принципиальная и конструктивная схемы регуляторов непрямого действия.** Принцип работы регуляторов непрямого действия. Регуляторы непрямого действия с жесткой обратной связью. Регуляторы непрямого действия с гибкой обратной связью. Регуляторные характеристики двигателей внутреннего сгорания с регуляторами непрямого действия. Изодромные регуляторы частоты вращения.

**Статические характеристики регулятора частоты вращения двигателя внутреннего сгорания.** Поддерживающая сила регулятора и ее характеристики. Восстанавливающая сила регулятора и ее характеристики. Равновесная характеристика регулятора. Фактор устойчивости регулятора. Степень нечувствительности регулятора.

**Дифференциальное уравнение регулятора частоты вращения прямого действия.** Вывод дифференциального уравнения. Разложение характеристик поддерживающей и восстанавливающей сил в ряд Тейлора. Принцип линеаризации характеристик регулятора частоты вращения. Решение уравнения регулятора частоты вращения. Свободный и вынужденный переходные процессы регулятора частоты вращения. Требования к параметрам переходных процессов главных и вспомогательных двигателей внутреннего сгорания.

**Дифференциальные уравнения регулятора частоты вращения непрямого действия.** Уравнения гидравлического сервомотора. Уравнение жесткой обратной связи. Составление системы дифференциальных уравнений регулятора непрямого действия. Численные методы решения дифференциальных уравнений. Метод Рунге-Кутты.

**Структурная схема современного двигателя внутреннего сгорания.** Структурная схема двигателя внутреннего сгорания. Статические характеристики двигателя внутреннего сгорания. Фактор устойчивости двигателя внутреннего сгорания.

**Дифференциальные уравнения двигателя внутреннего сгорания.** Дифференциальное уравнение вращения твердого тела. Дифференциальное уравнение собственно двигателя внутреннего сгорания. Уравнения турбокомпрессора, впускного ресивера и выпускного коллектора. Построение переходных процессов двигателя внутреннего сгорания.

**Система автоматического регулирования частоты вращения двигателя внутреннего сгорания.** Структурная схема системы автоматического регулирования частоты вращения двигателя внутреннего сгорания. Составление системы дифференциальных уравнений для системы автоматического регулирования частоты вращения. Способы решения систем дифференциальных уравнений и построения переходных процессов при различных возмущениях.

**Устойчивость систем автоматического регулирования.** Виды переходных процессов систем автоматического регулирования. Понятие об устойчивости системы автоматического регулирования. Критерий устойчивости Рауза-Гурвица. Диаграмма Вышнеградского. Частотные критерии устойчивости.

**Системы автоматического управления топливоподачей двигателей внутреннего сгорания.** Классификация систем управления топливоподачей двигателей внутреннего сгорания. Системы управления разделенной топливной аппаратурой электронными регуляторами частоты вращения. Системы управления аккумуляторной топливной аппаратурой.

**Принцип действия и устройство электронных систем управления топливоподачей двигателей внутреннего сгорания.** Схемы электронного управления топливоподачей двигателей внутреннего сгорания. Принцип действия и устройство электроуправляемых

форсунок. Электрогидравлические и электромеханические форсунки.

### **3. ВОПРОСЫ ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ТУРБИНЫ И ГАЗОТУРБИННЫЕ И ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ**

#### **3.1. Главное турбинное энергетическое оборудование.**

Термодинамические процессы, составляющие энергетические циклы ГТУ и ПТУ. Паровые и газовые турбины, принцип действия и устройство паровых и газовых турбин, их параметры и эффективность. Судовые газотурбинные двигатели, их конструкция и принцип работы; параметры судовых ГТД и ПТУ и их эффективность. ПТУ атомных ЭУ.

**Основы теории турбинной ступени.** Ступень осевой турбины, физические основы ее работы, сопловая и рабочая решетки турбинных профилей, скорости газового (парового) потока на выходе из них. Расход рабочей среды через решетки турбинных профилей. Потери кинетической энергии потока рабочей среды в решетках турбинных профилей и способы их снижения. Изменение момента количества движения в элементарной турбинной ступени, ее работа и оценка эффективности преобразования энергии потока рабочей среды в турбинной ступени. Треугольники скоростей. Активная и реактивная осевые турбинные ступени и условия их оптимальной работы. Характеристики эффективности работы турбинных ступеней. Изменения реактивности, крутящего момента и мощности турбинной ступени при изменении частоты вращения ее ротора. Пространственный поток в элементах осевой турбинной ступени, уравнение радиального равновесия осесимметричного потока в осевом зазоре турбинной ступени. Законы закрутки сопловых и рабочих лопаток в осевых турбинных ступенях и их эффективность. Внутренние потери в осевой турбинной ступени, ее внутренний коэффициент полезного действия и развиваемая мощность.

**Многоступенчатая турбина.** Причины использования многоступенчатых турбин. Ступени скорости. Рабочий процесс в S-I диаграмме. Треугольники скоростей. Решетки профилей. Зависимость окружного КПД от скоростной характеристики. Многоступенчатые турбины со ступенями давления. Рабочий процесс в S-I диаграмме. Располагаемый перепад энтальпий. Коэффициент возвращенного тепла. Приближенное определение КПД многоступенчатой турбины через КПД входящих в ее состав ступеней. Условие использования выходной кинетической энергии из предыдущей ступени. Работа многоступенчатой турбины на переменных режимах Влажнопаровые турбины. Потери от влажности. Эрозионный износ деталей влажнопаровых турбин. Мероприятия по уменьшению эрозионного износа деталей турбин.

**Прочность и динамика турбинных лопаток и ротора турбины.** Растяжение и изгиб рабочих лопаток осевой турбины центробежными силами. Изгиб сопловых и рабочих лопаток газовыми силами. Вибрация рабочих лопаток осевой турбины. Динамические напряжения в рабочих лопатках осевых турбин при резонансных колебаниях и способы их снижения. Модели и критерии длительной прочности материала деталей, работающих при высоких температурах. Диаграмма ползучести материалов лопаточных аппаратов. Суммарная накопленная деформация ползучести. Определение скорости ползучести материала. Прямая и обратная задачи расчета лопаток турбины в условиях ползучести. Влияние заноса проточной части компрессора на долговечность лопаток турбины при использовании промывок компрессора. Влияние коррозии лопаток турбины на их деформацию ползучести. Прочность дисков осевых турбин, влияние граничных условий на распределение радиальных и окружных напряжений по полотну симметричного диска. Прочность ротора «барабанного» типа и вала многодискового ротора. Критические частоты вращения роторов различной конструкции осевых турбин.

#### **3.2. Газотурбинный двигатель.**



**ГТД открытого простого и сложного цикла.** Термодинамические процессы, составляющие энергетический цикл ГТД. Идеальный и реальный циклы. Работа сжатия и расширения рабочего тела. Усредненные теплоемкости газа и воздуха. Связь между энтальпией и температурой. КПД цикла, влияние дросселирования в элементах газоздушного тракта на полезную работу. Удельные расходы воздуха и топлива. Влияние основных параметров цикла на КПД и удельный расход воздуха. Оптимальные значения степени повышения давления. Выбор параметров цикла. Основные способы получения полезной работы. Блокированная схема, схема с разделенным перепадом энтальпий. Двухкомпрессорная схема. Способы повышения КПД открытого цикла. Снижение потерь в окружающую среду. Схема ГТД с регенератором. Поверхность регенератора. Влияние коэффициента регенерации на КПД ГТД. Способы снижения удельного расхода воздуха. Промежуточное охлаждение воздуха при сжатии. Регенерация – условие повышения КПД цикла с промежуточным охлаждением воздуха. Промежуточный подогрев газа при расширении. Влияние регенерации на КПД цикла. Охлаждение элементов ГТУ Внутреннее конвективное и заградительное охлаждение направляющих и рабочих лопаток Охлаждение дисков турбины и элементов статора. Потери, обусловленные охлаждением элементов проточной части турбины. Переменный режим работы ГТД.

**ГТУ закрытого цикла.** Особенности и схема ГТУ закрытого цикла. Сравнение КПД ГТУ открытого и закрытого цикла с одинаковыми параметрами при работе на химическом топливе. Влияние давления на входе в компрессор на мощность ГТУ. Определение емкости аккумулятора рабочего тела при заданном диапазоне изменения мощности ГТУ. ГТУ закрытого цикла с ядерным источником энергии, одноконтурные и двухконтурные схемы. Свойства теплоносителей. ГТУ закрытого цикла малой мощности для подводной и космической энергетики.

### 3.3. Газотурбинные и паротурбинные агрегаты.

**Газотурбинные агрегаты водоизмещающих кораблей и судов, кораблей и судов с динамическими принципами поддержания.** Основные типы газотурбинных и дизель-газотурбинных агрегатов водоизмещающих кораблей и судов. Состав агрегатов. Типы двигателей, движителей, редукторов. Междуконтурные передачи. Примеры агрегатов. Газотурбинные агрегаты судов на подводных крыльях с механической передачей мощности движителю. Водометные комплексы, конструктивные схемы насосов водометных комплексов. Особенности эксплуатационных режимов судов на подводных крыльях и судов на воздушной подушке с газотурбинными установками. Энергосиловые газотурбинные установки судов на воздушной подушке амфибийного и скегового типов, их удельные показатели. Подъемные вентиляторы (конструктивные схемы, типы). Воздушный винт – движитель амфибийного судна на воздушной подушке, его массо-габаритные характеристики. Примеры агрегатов. Газотурбинные агрегаты экранопланов.

**Паротурбинные агрегаты.** Энергетический цикл. Основные уравнения. Показатели тепловой экономичности ПТА. Уровень КПД современных ПТА. Принципы выбора параметров пара. Методы повышения тепловой экономичности ПТА. Повышение начальных параметров пара - давления и температуры. Влияние на КПД цикла, внутренний КПД турбины, конечную влажность пара. Выбор давления в конденсаторе. Влияние на габарит и массу основных элементов ПТА, на технико-экономические характеристики. ПТА с промежуточным перегревом пара. Процесс расширения пара в турбине. Параметры промежуточного перегрева пара. Определение КПД ПТА. Обобщенный цикл Карно и предельный регенеративный цикл. Практическое осуществление регенеративного процесса. Тепловая схема ПТА. Специфика регенеративного процесса судовых ПТА: схемы 1-го, 2-го и 3-го рода, области их применения. Паротурбинные агрегаты атомных установок. Тепловые схемы. Параметры пара. ПТА с турбинами насыщенного пара. Влажно-паровые турбины. Промежуточный перегрев пара и сепарация влаги. Внешняя и внутренняя сепарация. Регенеративный подогрев питательной воды.

### 3.4. Комбинированные установки.

**Комбинированные установки с термодинамически не связанными двигателями.** Режимы работы и основные типы судовых комбинированных энергетических установок. Расход топлива на единицу пройденного пути. Спектр режимов работы корабельной силовой установки. Режимы технико-экономического и маршевого хода корабля. Определение дальности плавания для заданного спектра режимов. Типы и примеры установок с термодинамически не связанными двигателями. Определение характеристик корабля на технико-экономическом ходу. Состав корабельной установки, маршевые и основные двигатели. Соотношение мощностей основного и маршевого двигателей, влияние режима работы корабельной газотурбинной установки на ее экономичность. Применение комбинированных турбопоршневых двигателей в качестве маршевых. Классификация агрегатов: COGOG, CODOG, COGAG, CODAG. Раздельная и совместная работа двигателей. Варианты совместной работы двигателей. Использование дизелей в качестве базовой установки. Двухскоростной редуктор. Отключение и подключение двигателей, реверс и разгон. Схемы компоновки. Распределение мощности между двигателями.

**Системы электродвижения в пропульсивных комплексах.** Гибридные установки для водоизмещающих кораблей и судов. Комбинированные установки CODLAG, COGLAG. Системы полного электродвижения в газотурбинных и дизель газотурбинных установках кораблей и круизных лайнеров. Пропульсивные комплексы типа PAD.

**Комбинированные установки с термодинамически связанными двигателями.** Газопаротурбинные установки с котлом-утилизатором (КУ). Тепловые схемы ГПТУ с котлом-утилизатором и паротурбинным теплоутилизующим контуром – бинарные. Температурная диаграмма котла-утилизатора. Несколько уровней давления в котле-утилизаторе. Механические схемы ГПТУ на одновальных и многовальных судах. Энергообмен между валами перекрестный режим работы ГПТУ. Основные уравнения и особенности алгоритма расчета главных и вспомогательных ГПТУ с котлом-утилизатором. Определение мощности вспомогательных механизмов и расхода пара на собственные нужды теплоутилизующего контура. Оптимальные технические характеристики ГПТУ с котлом-утилизатором. Дожигание топлива в ГПТУ. Установки с впрыском воды, с котлом-утилизатором и впрыском пара в ГТД. Улучшение экологических характеристик энергетической установки. Установки с конденсацией воды из газопаровой смеси. Системы очистки воды. Контактная ГПУ с глубокой утилизацией тепла. Паровое охлаждение лопаток газовой турбины. Парогазотурбинные установки (ПГТУ). Тепловые схемы ПГТУ. Высоконапорный котел и турбонаддувочный агрегат (ТНА). Режимы работы газовой турбины ТНА. КПД ПГТУ. ПГТУ в судовой энергетике.

## 4. ВОПРОСЫ ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

### 4.1. Теоретические основы ядерной энергетики.

**Физические основы ядерной энергетики.** Строение атомных ядер. Радиоактивность. Ядерные реакции. Эффективные сечения. Цепная реакция деления и условия ее осуществления. Коэффициент размножения. Баланс нейтронов в реакторе. Мощность реактора. Принципы регулирования мощности реактора.

**Основы физики реакторов.** Основные положения теории замедления нейтронов. Основные положения теории диффузии нейтронов. Гомогенные и гетерогенные реакторы. Температурные эффекты реактивности. Кинетика выгорания топлива в реакторах. Отравление реактора. Запасы реактивности в реакторах и методы их компенсации. Методы выравнивания энерговыделения в гетерогенных реакторах.

**Основы управления реактором и энергетической установкой.** Физические основы

регулирования реакторов. Система управления реактором и требования к ней. Принципиальные схемы автоматического регулирования мощности реактора. Основы автоматического регулирования ядерной энергетической установки.

#### **4.2. Гидродинамика и теплообмен в ядерных реакторах.**

Гидродинамика и теплообмен в водо-водяных ядерных реакторах. Особенности гидродинамики и теплообмена в ядерных реакторах с жидкометаллическим теплоносителем. Особенности гидродинамики и теплообмена в ядерных реакторах с перегревом пара в активной зоне. Гидродинамика и теплообмен в теплообменных аппаратах рекуперативного типа.

#### **4.3. Моноблочные ядерные паропроизводящие агрегаты.**

Концепция «конструктивной безопасности». Моноблочный ППА судна «Отто Ган». Современные проекты моноблочных ППА: IRIS, SMART, СВБР-75/100, «РИТМ 200». Моноблочный ППА «Бета». Математическая модель и алгоритм расчета первого контура ППА «Бета».

**Струйные аппараты.** Течение среды в соплах и диффузорах; потери в соплах и диффузорах; уравнение сохранения импульса для цилиндрической камеры смешения; водо-водяные инжекторы; пароводяные струйные аппараты; процессы, протекающие в пароводяных струйных аппаратах; скачок конденсации. Теория и конструктивные особенности струйных аппаратов для ППА «Бета».

#### **4.4. Нестационарные процессы в ядерных реакторах и парогенераторах.**

Уравнения кинетики. Математическое описание нестационарных теплофизических процессов. Конечно-разностные уравнения.

### **5. ВОПРОСЫ ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ И ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**

#### **5.1. Водород.**

**Свойства водорода.** Изотопы водорода. Орто- и пара- формы водорода. Физико-химические свойства водорода. Воспламенение, горение и детонация водорода. Пожаро- и взрывоопасность водорода. Физиологическое действие водорода на человека. Меры безопасности при работе с водородом. Наводораживание конструкционных материалов.

**Современные методы получения водорода.** Общая характеристика природных источников водорода. Физические методы извлечения водорода из водородосодержащих газовых смесей. Конверсия природного газа (получение водорода путем парциального окисления углеводородов, паровая конверсия углеводородов и оксида углерода). Газификация угля (получение водорода при переработке угля и кокса). Получение водорода из воды (разложение гидрореагирующими металлами, термохимическое разложение воды, электролиз воды). Технико-экономическое и экологическое сравнение методов получения водорода.

**Аккумуляция водорода.** Хранение сжатого газообразного водорода. Хранение жидкого водорода. Установки для получения жидкого водорода. Материалы и способы теплоизоляции криогенных резервуаров и трубопроводов. Хранение водорода в химически связанном состоянии. Генерация водорода из аммиака и метанола. Хранение водорода в гидридах металлов и интерметаллидах. Генерация водорода из гидридов и боргидридов металлов. Капсулированное хранение. Фуллерены.

## 5.2. Топливные элементы.

**Физико-химические основы преобразования химической энергии в электрическую.** Принцип действия и элементы конструкции топливного элемента. Отличие топливного элемента от аккумуляторной батареи. Реакции и структура ячейки. Термодинамический КПД топливного элемента. Влияние давления и температуры на характеристики топливного элемента. Потери на поляризацию.

**Основные типы топливных элементов и области их применения.** Высокотемпературные топливные элементы с твердо-оксидным электролитом. Среднетемпературные топливные элементы (фосфорно-кислые, карбонатные). Низкотемпературные топливные элементы (щелочные топливные элементы, низкотемпературные топливные элементы на протонообменных мембранах, топливные элементы с прямым использованием метанола). Перспективные области применения топливных элементов: электроснабжение транспорта, автомобильная промышленность, морские подводные установки на базе ЭХГ, перспективы использования электрохимических установок на надводных кораблях и судах, автономное энергоснабжение отдельных объектов электроэнергией и теплом, резервные автономные источники электропитания, автономные источники энергоснабжения, электроснабжение портативных электронных приборов.

**Топливные элементы с твердополимерными мембранами.** Основные элементы ТПЭ. Ионообменные мембраны. Катализаторы. Пористые электроды. Поддержание водных и тепловых режимов. Вольтамперная характеристика. Батареи топливных элементов. Оптимизация характеристик батарей. Биполярная пластина.

## 5.3. Энергоустановки с ЭХГ.

Основные принципы построения энергоустановок с ЭХГ. Схемы энергоустановок с ЭХГ. Система подготовки и подачи водорода, система подготовки и подачи кислорода. Охлаждение топливных элементов.

## 5.4. Тепловые двигатели замкнутого цикла.

Двигатели Стирлинга (схема, цикл, принцип работы). ДВС замкнутого цикла (схема, цикл, принцип работы). ГТУ замкнутого цикла (схема, цикл, принцип работы).

## 6. ВОПРОСЫ ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

### 6.1. Автоматизированное проектирование СЭУ.

Модели и методы для формирования САПР эскизного и технического проектирования СЭУ и её элементов. Обоснование исходных данных, ограничений и нормативов, критериев эффективности и методов поиска оптимума. Численный эксперимент и анализ его результатов.

### 6.2. Вспомогательные энергетические комплексы СЭУ.

Повышение эффективности машин и механизмов в составе вспомогательных энергетических комплексов СЭУ на базе совершенствования рабочих процессов в них и отработки конструктивных и схемных решений.

### 6.3. Теплообменные аппараты с конденсацией пара.

Отработка конструкции и структуры трубных пучков конденсаторов пара сложной

геометрии на основе математического моделирования течения пара и теплотехнического экспериментального исследования теплоотдачи при конденсации пара.

#### 6.4. Экологическая безопасность СЭУ.

Основная нормативная техническая документация, регламентирующая деятельность в сфере проектирования, эксплуатации и утилизации СЭУ. Методы, определяющие допустимые взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой. Способы снижения вредных выбросов.

### ЛИТЕРАТУРА ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ДИЗЕЛИ И ДИЗЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

#### Основная литература

1. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. /Под ред. А.С.Орлина., М.Г.Круглова - М.: Машиностроение, 1983, - 374 с.  
<http://www.cogeneration.com.ua/ru/analytics/theory/internal-combustion-engine/> или <http://www.arhibook.ru/16432-dvigateli-vnutrennego-sgoraniya-teorija.html>.
2. Двигатели внутреннего сгорания, кн. I. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов/ Под ред. В.Н. Луканина. - М.: Высшая школа, 2005, - 479 с.
3. Гордеев П.А., Плотников В.А. Расчет рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания. Методические указания по тепловому расчету. - СПб: ГМТУ, 2002. - 34 с.
4. Гордеев П.А. Испытания двигателя 1Д 6,5/9+12 по внешней, винтовой и нагрузочной характеристикам. Методические указания - Л.: Изд. ЛКИ, 1984. - 16 с.
5. Гаврилов В.В., Красильников В.Б. Испытания двигателя 1Ч 8,5/11 по нагрузочной и внешней характеристикам. Методические указания. - Л.: Изд. ЛКИ, 1986. - 25 с.
6. Гаврилов В.В., Красильников В.Б. Испытания двигателя 3Ч 17,5/24 по нагрузочной характеристике. Методические указания. - Л.: Изд. ЛКИ, 1989. - 35 с.
7. Гордеев П.А., Коптев К.Н., Плотников В.А. Испытания двигателя 40ДМ (12ДН23/30) по винтовой характеристике. Методические указания. - СПб: ГМТУ, 1995. - 39 с.
8. Гордеев П.А., Коптев К.Н., Плотников В.А. Методы приближенной оценки механических потерь в поршневых ДВС. Методические указания. - СПб: ГМТУ, 1995. - 28 с.
9. Семионичев С.Р. Оснащение опытных дизельных стендов, проведение испытаний, обследование судового дизеля 2Д42: Учебное пособие. – СПб.: СПбГМТУ, 2005. - 112 с.
10. Столяров С.П. Расчет процессов газообмена в судовых дизелях. Методические указания. - СПб: ГМТУ, 1993. - 62 с.
11. Румб В.К., Медведев В.В. Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых двигателей внутреннего сгорания (учебник). СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2006, 536 с.
12. Конструирование двигателей внутреннего сгорания. Под редакцией Н.Д.Чайнова (учебник). М.: Машиностроение, 2008, 496 с.
13. Орлин А.С., Круглов М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых комбинированных двигателей. - М.: Машиностроение, 1985.
14. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей.- М.: Высш. шк., 2003.
15. Двигатели внутреннего сгорания, кн. I. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов/ Под ред. В.Н. Луканина. - М.: Высшая школа, 2005, - 479 с.
16. Семионичев С.Р., Медведев В.В. Системы двигателя внутреннего сгорания. – СПб ГМТУ, Пегас, 2001.
17. Истомин П. А. Крутильные колебания в судовых ДВС. Л.: Судостроение, 1968, 304 с.
18. Румб В.К. Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности

- судовых валопроводов: учебник/ СПб ГМТУ. – СПб, 2008, 298 с.
19. Минасян М.А. Колебания валопроводов судовых дизельных установок: Учеб. пособие/СПб ГМТУ - СПб: 2006, 109 с.
  20. Минасян М.А., Румб В.К. Запись, обработка и анализ крутильных колебаний валопроводов судовых энергетических установок. СПбГМТУ, 1997, 15 с.
  21. Радченко В.А., Румб В.К., Медведев В.В. Расчет колебаний судовых валопроводов на персональной ЭВМ. СПбГМТУ, 2001, 56 с.
  22. Румб В.К., Яковлев Г.В., Шаров Г.И., Медведев В.В. Минасян М.А. Судовые энергетические установки. Судовые дизельные энергетические установки. – СПб ГМТУ. - СПб, 2007, 622 с.
  23. Судовые установки с двигателями внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт, П.А. Гордеев, Б.А. Захаренко и др. – Л.: Судостроение, 1978.
  24. Ачкинадзе А.Ш., Гаврилов В.В., Степанов И.Э. Автоматизированное проектирование пропульсивного комплекса морского транспортного судна. – Учебное пособие. СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2000. – 75 с.
  25. Яковлев Г.В. Судовые механические передачи дизельных установок. – Учебное пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1983.
  26. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник. - Л.: Судостроение, 1977. - 390 с.
  27. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник (под ред. Ю.Я.Фомина). - Л.: Судостроение, 1989. - 344 с.
  28. Двигатели внутреннего сгорания: кн.1, Теория рабочих процессов ДВС / под ред. Луканина В.Н. - М.: Высшая школа, 1995. - 373 с.
  29. Семионичев С.Р. Оснащение опытных дизельных стендов, проведение испытаний, обслуживание судового дизеля 2Д42. Учебное пособие. – СПб, СПбГМТУ, 2005, 112 с.
  30. Крюков В.В., Будзинский В.В. Методы экспериментального исследования судовых малооборотных дизелей. – Л., «Судостроение», 1971, 264 с.
  31. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания: Учебник. – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Дизели и газовые двигатели. Каталог. – СПб.: ООО «ЦНИДИ», 2009. – 200 с.
2. Дизели: Справочник /Под ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова - Л.: Машиностроение, 1977. - 480 с.
3. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: Учебное пособие для вузов. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 592 с. - <http://www.twirpx.com/file/340742/>.
4. Костин А.К., Ларионов В.А., Михайлов Л.И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие. - Л.: Машиностроение, 1979. - 222 с.
5. Плотников В.А., Коптев К.Н. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Основы теории ДВС. Конспект лекций - СПб: ГМТУ, 1995. - 106 с.
6. Чурбанов Б.М. Расчет органов газообмена двухтактных дизелей - Л.: Машиностроение, 1972. - 144 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей (учебник). Под общей ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
8. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
9. Ваншейдт В.А. Конструирование и расчеты прочности судовых дизелей (учебник). Л.: Судостроение. 1969. 639 с.
10. Семионичев С.Р. Оснащение опытных дизельных стендов, проведение испытаний. – СПб ГМТУ, 2005.

11. Горошко В.Ф., Минасян М.А. Динамика корабельных дизельных энергетических установок и снижение их виброактивности. С- Петербург, ВМА им. Кузнецова Н.Г., 2000, 104 с.
12. Румб В.К. Основы проектирования и расчета судового валопровода. Уч. пособие. С- Петербург, СПбГМТУ, 1996, 106 с.
13. Войткунский А.И. Сопротивление движению судов. – Л.: Судостроение, 1988. - 287 с.
14. Проектирование пропульсивного комплекса установок с прямой передачей / В.П. Шостак, В.И. Гершаник, В.П. Кот, Н.С. Бондаренко; под ред. В.П. Шостака. - Учебное пособие. Николаев: Изд. УГМТУ, 2003. -500 с.
15. Бажан П.И. Расчет и конструирование охладителей дизелей. - Л.: Судостроение, 1981. - 168 с.
16. Лангкатель Г.Х. Турбодвигатели и компрессоры: Справочное пособие. М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. - 351 с.
17. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей: Учебник / под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. - М.: Машиностроение, 1985. - 374 с.
18. Двигатели внутреннего сгорания: системы поршневых и комбинированных двигателей: Учебник / под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. - М.: Машиностроение, 1985. - 456 с.
19. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания - конструирование и расчеты прочности: Учебник. - Л.: Судостроение, 1969. - 640 с.
20. Дизели: Справочник / под ред. В.А.Ваншейдта, Н.Н.Иванченко, Л.К.Коллерова. Издние 3-е. - Л.: Машиностроение, 1977. - 479 с.
21. Справочник по теплообменным аппаратам /П.И.Бажан, Г.Е.Каневец, В.М.Селиверстов/. - М.: Машиностроение, 1989.
22. Турбокомпрессоры для наддува дизелей: справочное пособие /Б.П.Байков, В.Т.Бордуков, Р.С.Дейч, П.В.Иванов/. - Л.: Машиностроение, 1975. - 198 с.
23. Гордеев П.А., Коптев К.Н., Плотников В.А. Испытания двигателя 40ДМ (12ДРН 23/30) по винтовой характеристике. Методические указания к лабораторным работам 2.1-2.5. - СПб: ГМТУ, 1995. - 40 с.
24. Сороко-Новицкий В.И. Испытания автотракторных двигателей. – М., Машгиз, 1955. - 531 с.
25. Баладин И.В., Куров Б.А., Лаптев С.А. Испытание автомобилей. – М., Машиностроение, 1988. - 192 с.
26. Крутов В.И. Сборник задач по автоматическому регулированию двигателей внутреннего сгорания: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.
27. Архангельский В.С. Регуляторы частоты вращения судовых дизелей. Л.: Судостроение, 1989. – 176 с.
28. Румб В.К., Яковлев Г.В., Шаров Г.И. и др. Судовые энергетические установки. Судовые дизельные энергетические установки: Учебник. – СПб.: Изд.СПбГМТУ, 2007. – 622 с.

## **ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ТУРБИНЫ И ГАЗОТУРБИННЫЕ И ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ**

### **Основная литература**

1. Курзон А.Г., Маслов Л.А. Судовые турбинные установки. Учебник. - Л.: Судостроение, 1991.
2. Топунов А.М. Теория судовых турбин. Учебное пособие. Л: Судостроение, 1984.
3. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1982.
4. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Г. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. Учебник. М.: Машиностроение, 1986.
5. Басалыгин Г.М. Судовые турбомшины, т.1. СПб., Элмор, 2007.

6. Охлаждение элементов высокотемпературных газовых турбин/ Андреев К.Д., Беркович А.Л. и др. СПбГПУ. 2008.
7. Маслов Л.А. Судовые газотурбинные установки. Учебник. - Л.: Судостроение, 1973.
8. Курзон А.Г. Основы теории и проектирования судовых паротурбинных установок. Учебник. - Л.: Судостроение, 1974.
9. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок /Елисеев Ю.О., Манушин Э.А. и др. Учебник. - М.: МГТУ им. Баумана, 2000.
10. Дядик А.Н., Никифоров Б.В. Корабельные энергетические системы. СПб, 2010.
11. Курзон А.Г., Юдовин Б.С. Судовые комбинированные энергетические установки. - Л.: Судостроение, 1981.

#### **Дополнительная литература**

1. Слободянюк Л.И., Поляков В.И. Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация. Учебное пособие. Л.: Судостроение, 1983.
2. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкции и расчет деталей. Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1984.
3. Манушин Э.А., Суровцев И.П. Конструирование и расчет на прочность турбомашин газотурбинных и комбинированных установок. М.: Машиностроение, 1990.
4. Артемов Г.А. Судовые газотурбинные установки. Л.: Судостроение. 1978.
5. Артемов Г.А. Совершенствование судовых газотурбинных установок. Л.: Судостроение. 1984.
6. Тихомиров Б.А., Ерохин С.К. Универсальный программный комплекс для расчета циклов газотурбинных установок. Методические указания. СПбГМТУ. 2000.
7. Тихомиров Б.А., Столярова С.Ф. Синтез оптимальных вариантов судового газотурбинного двигателя. Методические указания. СПбГМТУ. 2000.
8. Вудвард Дж. Морские газотурбинные установки. - Л.: Судостроение, 1979.
9. Арсеньев Л.В., Тырышкин В.Г. Комбинированные установки с газовыми турбинами. Л.: Машиностроение, 1982.

### **ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

#### **Основная литература**

1. Судовые ядерные реакторы. Учебник./ Кузнецов В.А. - Л.: Судостроение, 1988,- 264 с.
2. Конструирование ядерных реакторов. Учебное пособие. /Емельянов И.Я., Михан В.И., Солонин В.И.; Под общ. ред. акад. Н.А. Доллежала. – М.: Энергоиздат, 1982, - 275 с.
3. Наумов В.И. Физические основы безопасности ядерных реакторов. Учебное пособие - Москва: МИФИ, 2003.- 156 с.
4. Судовые ядерные паропроизводящие установки. Учебник. / Шаманов Н. П., Дядик А. Н., Пейч Н. Н. Л.: Судостроение, 1990, - 368 с.
5. Судовые ядерные энергетические установки. Учебник / Кузнецов В.А. Л.: Судостроение, 1989, - 256 с.
6. Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков. Котельные установки и парогенераторы. НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2006 г.
7. Судовые ядерные энергетические установки. / Кузнецов В.А. М.: Атомиздат, 1976.
8. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М., Наука, 1992
9. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М., Наука, 1976.
10. Федоров Л.Ф., Рассохин Н.Г. Процессы генерации пара на АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1985
11. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен. М.: МЭИ, 2005.

#### **Дополнительная литература**



1. Корабельные ядерные энергетические установки зарубежных стран. / Батырев А.Н., Кошеверов В.Д., Лейкин О.Ю. - СПб.: Судостроение, 1994, 336 с.
2. Проектирование теплообменных аппаратов АЭС. / Митенков Ф.М., Головкин П.А., Ушаков П.А., Юрьев Ю.С. - М.: Энергоатомиздат, 1988, - 296 с.

## **ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**

### **Основная литература**

1. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справ. изд. - М.: Химия, 1989.
2. Шаманов Н.П., Калмыков А.Н. Электрохимические транспортные энергоустановки с водородным топливом: Монография. СПбГМТУ. - СПб., 2006.
3. Калмыков А.Н., Кириченко Л.И., Шаманов Н.П. Математическое моделирование динамических процессов в гидридных аккумуляторах водорода судовых энергоустановок. Учеб. пособие. - СПб.: Изд. Центр СПбГМТУ, 2006.
4. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. - М.: Высш. шк., 1980.

## **ПО НАУЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

### **Основная литература**

1. Румб В.К., Яковлев Г.В., Шаров Г.И., Медведев В.В., Минасян М.А. Судовые энергетические установки. Судовые дизельные энергетические установки (учебник). СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2007, 622 с.
2. Румб В.К. Судовая пропульсивная установка с двигателем внутреннего сгорания (учебное пособие). СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2011, 295 с.
3. Судовые установки с двигателями внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт, П.А. Гордеев, Б.А. Захаренко и др. - Л.: Судостроение, 1978.
4. Ачкинадзе А.Ш., Гаврилов В.В., Степанов И.Э. Автоматизированное проектирование пропульсивного комплекса морского транспортного судна. - Учебное пособие. СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2000. - 75 с.
5. Яковлев Г.В. Судовые механические передачи дизельных установок. - Учебное пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1983.
6. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова - М.: Машиностроение, 1983, - 374 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания, кн. I. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.Н. Луканина. - М.: Высшая школа, 2005, - 479 с.
8. Гордеев П.А., Плотников В.А. Расчет рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания. Методические указания по тепловому расчету. - СПб: ГМТУ, 2002. - 34 с.
9. Гордеев П.А. Испытания двигателя 1Д 6,5/9+12 по внешней, винтовой и нагрузочной характеристикам. Методические указания - Л.: Изд. ЛКИ, 1984. - 16 с.
10. Гаврилов В.В., Красильников В.Б. Испытания двигателя 1С 8,5/11 по нагрузочной и внешней характеристикам. Методические указания. - Л.: Изд. ЛКИ, 1986. - 25 с.
11. Гаврилов В.В., Красильников В.Б. Испытания двигателя 3С 17,5/24 по нагрузочной характеристике. Методические указания. - Л.: Изд. ЛКИ, 1989. - 35 с.
12. Гордеев П.А., Коптев К.Н., Плотников В.А. Испытания двигателя 40ДМ (12ДН23/30) по винтовой характеристике. Методические указания. - СПб: ГМТУ, 1995. - 39 с.
13. Гордеев П.А., Коптев К.Н., Плотников В.А. Методы приближенной оценки механических потерь в поршневых ДВС. Методические указания. - СПб: ГМТУ, 1995. - 28 с.
14. Семионичев С.Р. Оснащение опытных дизельных стендов, проведение испытаний, обследование судового дизеля 2Д42: Учебное пособие. - СПб.: СПбГМТУ, 2005. - 112 с.
15. Столяров С.П. Расчет процессов газообмена в судовых дизелях. Методические

указания. - СПб: ГМТУ, 1993. - 62 с.

16. Румб В.К., Медведев В.В. Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых двигателей внутреннего сгорания (учебник). СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2006, 536 с.

17. Конструирование двигателей внутреннего сгорания. Под редакцией Н.Д.Чайнова (учебник). М.: Машиностроение, 2008, 496 с.

18. Орлин А.С., Круглов М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых комбинированных двигателей. - М.: Машиностроение, 1985.

19. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей.- М.: Высш.шк., 2003.

20. Двигатели внутреннего сгорания, кн. I. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов/ Под ред. В.Н. Луканина. - М.: Высшая школа, 2005, - 479 с.

21. Семионичев С.Р., Медведев В.В. Системы двигателя внутреннего сгорания. – СПб ГМТУ, Пегас, 2001

22. Истомина П. А. Крутильные колебания в судовых ДВС. Л.: Судостроение, 1968, 304 с.

23. Румб В.К. Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых валопроводов: учебник/ СПб ГМТУ. – СПб, 2008, 298 с.

24. Минасян М.А. Колебания валопроводов судовых дизельных установок: Учеб.пособие/СПб ГМТУ - СПб: 2006, 109 с.

25. Минасян М.А., Румб В.К. Запись, обработка и анализ крутильных колебаний валопроводов судовых энергетических установок. СПбГМТУ, 1997, 15 с.

26. Радченко В.А., Румб В.К., Медведев В.В. Расчет колебаний судовых валопроводов на персональной ЭВМ. СПбГМТУ, 2001, 56 с.

27. Румб В.К., Яковлев Г.В., Шаров Г.И., Медведев В.В. Минасян М.А. Судовые энергетические установки. Судовые дизельные энергетические установки. – СПб ГМТУ. - СПб, 2007, 622 с.

28. Судовые установки с двигателями внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт, П.А. Гордеев, Б.А. Захаренко и др. – Л.:Судостроение, 1978.

29. Ачканадзе А.Ш., Гаврилов В.В., Степанов И.Э. Автоматизированное проектирование пропульсивного комплекса морского транспортного судна. – Учебное пособие. СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2000. – 75 с.

30. Яковлев Г.В. Судовые механические передачи дизельных установок. – Учебное пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1983.

#### **Дополнительная литература**

1. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2, Изд. РМРС, 2010, 810 с.

2. Пахомов Ю.А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания – Учебник. М.:ТрансЛит, 2007 – 528с.

3. Дизели и газовые двигатели. Каталог. – СПб.: ООО «ЦНИДИ», 2009. – 200 с.

4. Дизели: Справочник /Под ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова - Л.: Машиностроение, 1977. - 480 с.

5. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: Учебное пособие для вузов. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 592 с. - <http://www.twirpx.com/file/340742/>.

6. Костин А.К., Ларионов В.А., Михайлов Л.И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие. - Л.: Машиностроение, 1979. - 222 с.

7. Плотников В.А., Коптев К.Н. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Основы теории ДВС. Конспект лекций - СПб: ГМТУ, 1995. - 106 с.

8. Чурбанов Б.М. Расчет органов газообмена двухтактных дизелей - Л.: Машиностроение, 1972. - 144 с.

9. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей (учебник). Под общей ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.

10. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
11. Ваншейдт В.А. Конструирование и расчеты прочности судовых дизелей (учебник). Л.: Судостроение. 1969. 639 с.
12. Семионичев С.Р. Оснащение опытных дизельных стендов, проведение испытаний. – СПб ГМТУ, 2005.
13. Горошко В.Ф., Минасян М.А. Динамика корабельных дизельных энергетических установок и снижение их виброактивности. С- Петербург, ВМА им. Кузнецова Н.Г., 2000, 104 с.
14. Румб В.К. Основы проектирования и расчета судового валопровода. Уч. пособие. С- Петербург, СПбГМТУ, 1996, 106 с.
15. Войткунский А.И. Соппротивление движению судов. – Л.: Судостроение, 1988. - 287 с.
16. Проектирование пропульсивного комплекса установок с прямой передачей / В.П. Шостак, В.И. Гершаник, В.П. Кот, Н.С. Бондаренко; под ред. В.П. Шостака. - Учебное пособие. Николаев: Изд. УГМТУ, 2003. -500 с.

Программа вступительного экзамена по профилю «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)» составлена по согласованию с зав. кафедрами энергетики, судовых двигателей внутреннего сгорания и дизельных установок, судовых турбин и турбинных установок, судовых энергоустановок, систем и оборудования, теплофизических основ судовой энергетики д.т.н., доц. Кожемякиным В.В.

СОГЛАСОВАНО

Зав. отделом аспирантуры и докторантуры

к.т.н.



Т.И. Перегудова