

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

«18» 03 2014 года

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру

по направлению 15.06.01
«Машиностроение»

по профилю
«Турбомашины и комбинированные турбоустановки»

Санкт-Петербург
2014

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: Паротурбинные и газотурбинные установки, Механика жидкости и газа, Введение в теорию турбомашин, Динамика и прочность турбомашин, Основы проектирования паровых турбин и газотурбинных двигателей, Переменный режим работы турбомашин и турбоустановок, Автоматическое регулирование турбоустановок. Настоящая программа разработана на кафедре Судовых турбин и турбинных установок СПбГМТУ на основе номенклатуры специальностей научных работников применительно к направлению «Машиностроение» 15.06.01, профиль – «Турбомашин и комбинированные турбоустановки».

1. Паротурбинные, и газотурбинные установки.

ГТУ и ПТУ и их значение и место в современной энергетике. ПТУ для ТЭС и АЭС. Типы ГТУ в зависимости от назначения и условий эксплуатации: пиковые, полупиковые, базовые ГТУ; ГТУ для привода нагнетателей и транспортные ГТУ. Основные экономические показатели ГТУ и ПТУ: экономичность, надежность, ресурс работы, приемистость, капитальные затраты; требования к установкам различных типов.

Термодинамические процессы, составляющие энергетический цикл ГТУ. Состав ГТУ. Идеальный и реальный циклы. Потери в процессах сжатия, расширения, в окружающую среду, от дросселирования в газоздушном тракте. Параметр состава газа. Влияние основных параметров открытого цикла на КПД и удельный расход воздуха. Оптимальные значения степени повышения давления. Выбор параметров цикла. Блокированная схема, схемы с разделенным перепадом энтальпий и расходом рабочего тела. Двухкомпрессорная схема. Определение КПД цикла, полезной работы, удельного расхода воздуха.

Использование регенерации. Схема ГТУ с регенератором. Определение полезной работы, КПД цикла. Поверхность регенератора. Влияние коэффициента регенерации на КПД открытого цикла.

Способы снижения удельного расхода воздуха в цикле. Промежуточное охлаждение воздуха при сжатии. Температура воздуха после воздухоохладителя. Регенерация – условие повышения КПД цикла с промежуточным охлаждением воздуха. Промежуточный подогрев газа при расширении.

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.

Модели и критерии длительной прочности материала деталей, работающих при высоких температурах. Определение расхода охлаждающего воздуха для лопаток при задании коэффициента запаса по пределу длительной прочности и при задании суммарной накопленной деформации ползучести для спектра эксплуатационных режимов. Охлаждение дисков турбины и элементов статора. Внутреннее конвективное и заградительное охлаждение направляющих и рабочих лопаток. Потери, обусловленные охлаждением элементов проточной части турбины.

Основные уравнения для расчета переменного режима. Определение степени повышения давления в цикле ГТУ и степеней повышения давления отдельных компрессоров при расчете переменного режима. Определение положения режимных точек на характеристиках компрессоров на переменном режиме. Определение характеристик ГТУ на переменном режиме. Статические характеристики. Приведение к стандартным атмосферным условиям.

Паротурбинные установки. Цикл ПТУ. Водяной пар, пары органических рабочих тел. Основные уравнения ПТУ. Показатели тепловой экономичности ПТУ. Тепловой расчет ПТУ. Принципы выбора параметров и нормативов. Вопросы экологии в проектировании ПТУ. Методы повышения тепловой экономичности ПТУ. Повышение начальных параметров пара давления и температуры. Влияние на КПД цикла, внутренний КПД турбины, конечную влажность пара. Влияние на габарит и массу основных элементов ПТУ, на ее технико-экономические характеристики. Теоретические основания выбора давления в конденсаторе. Влияние на КПД цикла, КПД турбины, общий КПД ПТУ и габаритно-массовые показатели.

Принципиальные схемы комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Сравнение эффективности отдельной и комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Противодавленческие и конденсационные турбины с регулируемым отбором пара для теплофикации и технологических нужд.

Схема ПТУ с промежуточным перегревом пара. Процесс расширения пара в турбине. Параметры промежуточного перегрева пара. Оптимальные параметры промежуточного перегрева пара. Специфические проблемы применения промперегрева на судах.

Обобщенный цикл Карно и предельный регенеративный цикл. Практическое осуществление регенеративного процесса. Тепловая схема ПТУ. Специфика регенеративного процесса судовых ПТУ: Схемы 1-го, 2-го и 3-го рода, области их применения. Возможности повышения эффективности регенеративного процесса. Эффект применения смесительных ПВ, снижения недогрева воды в подогревателях.

Тепловые схемы ПТУ АЭС. Одноконтурные, двух и трехконтурные схемы. Рабочие тела первого контура. Принципиальные схемы отечественных судовых АПТУ. Параметры пара. ПТУ с турбинами насыщенного пара. Влажно-паровые турбины. Промежуточный перегрев пара и сепарация влаги. Внешняя и внутренняя сепарация. Регенеративный подогрев питательной воды.

Комбинированные установки. Газопаротурбинная установка (ГПТУ) со сбросом отработавшего в ГТД газа в котел. 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 одновалных и многовалных судах. Энергообмен между валами (перекрестный режим работы ГПТУ).

Математическая модель и алгоритм расчета ГПТУ. Особенности 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. Обобщенный вариант схемы ГПТУ с одним уровнем давления пара в КУ, паротурбинным ТУК и впрыском пара в ГТД. Программа, реализующая расчет обобщенной схемы ГПТУ.

Паровое охлаждение лопаток газовой турбины. Обобщенный вариант схемы ГПТУ с многоуровневым КУ. Программа, реализующая расчет обобщенной схемы ГПТУ с многоуровневым КУ.

Тепловые схемы и циклы газопаровых установок (ГПУ) контактного типа. Установки с впрыском воды, с котлом-утилизатором и впрыском пара в ГТД. Улучшение экологических характеристик энергетической установки.

Установки с конденсацией жидкой фазы из газопаровой смеси. Системы очистки воды типа «Водолей». Контактная ГПУ с глубокой утилизацией тепла. Математическая модель и алгоритм расчета ГПУ с котлом-утилизатором и впрыском пара.

2. Механика жидкости и газа

Модель сплошной среды. Область ее применения. Основные параметры неподвижного и движущегося потока в различных системах координат (плотность, давление, температура, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, коэффициенты молекулярной вязкости, теплопроводности и диффузии). Их физический смысл с точки зрения молекулярной теории. Уравнения состояния. Уравнения процесса.

Основные уравнения движения жидкости и газа. Уравнение неразрывности. Уравнение расхода. Уравнения движения вязкой и невязкой жидкости в интегральной форме. Гипотезы для определения тензора поверхностных сил. Уравнение Навье-Стокса. Уравнение энергии и его формы. Методы решения задачи о турбулентном течении вязкой среды. Осредненные уравнения Рейнольдса. Модели турбулентности.

Математическая постановка задачи расчета течения рабочей среды в проточной части турбомашин и элементах турбоустановок. Метод конечных объемов и его использование для численного решения гидро-газодинамических задач.

Упрощенные модели для решения газодинамических задач. Модель идеальной жидкости с пограничным слоем. Основные допущения. Пограничный слой и его интегральные параметры. Уравнения для пограничного слоя. Отрыв пограничного слоя и пути его предотвращения.

Одномерная модель течения. Критические параметры. Условия перехода через скорость звука. Газодинамические функции. Сверхзвуковые течения. Особенности сверхзвуковых потоков. Возникновение скачков уплотнений. Прямой скачок уплотнения и его расчет. Потери энергии в скачках уплотнения. Истечение из сопел и не профилированных отверстий. Коэффициенты расхода при истечении из щелей и отверстий.

Теория подобия и размерностей. Задачи теории подобия. Коэффициенты подобия и числа подобия. П-теорема. Условие физического подобия течения. Критерии подобия. Полное и частичное моделирование.

Осреднение неравномерных потоков как способ понижения размерности задачи. Строгий переход от трехмерной задачи к одномерной и двумерной задаче. Двумерные модели для расчета течения в турбомашинках.

Турбинные и компрессорные решетки, их классификация. Геометрические и аэродинамические характеристики решеток турбомашин. Угол выхода потока из лопаточных венцов при до- и сверхзвуковых скоростях течения. Профильные и концевые потери в решетках. Основные факторы, влияющие на величину составляющих потерь, методы их расчета. Нестационарные течения в решетках турбомашин. Переменные, аэродинамические силы.

3. Введение в теорию турбомашин.

Турбинные двигатели и лопаточные нагнетатели. Основные узлы турбомшины. Классификация турбин по различным признакам. Конструктивные особенности важнейших узлов турбин различных типов и назначений.

Ступень турбомшины. Состав и назначение элементов. Используемые системы координат. Особенности кинематики потока и форма межлопаточных каналов лопаточных венцов турбин и нагнетателей.

Одномерная модель газо-термодинамики для описания рабочих процессов в ступенях турбомашин.

Рабочий процесс в турбинной ступени и его изображение в S-I диаграмме. Полные параметры в относительном движении. Основные внешние параметры турбинной ступени. Решетки профилей и треугольники скоростей. Основные геометрические, кинематические и термодинамические размерные и безразмерные параметры турбинной ступени. Безразмерные внешние характеристики ступени.

Рабочий процесс в компрессорной ступени и его изображение в S-I диаграмме. Решетки профилей и треугольники скоростей. Основные параметры ступени. Центробежные ступени компрессора и вентилятора. Особенности рабочего процесса. Безразмерные параметры компрессорной ступени.

Подобие рабочих процессов в ступенях турбомашин. Критерии подобия в лопаточных машинах.

Классификация потерь энергии в ступени турбомшины. Физические причины, вызывающие отдельные составляющие потерь. Некоторые факторы, влияющие на потери. Виды КПД.

Внешние характеристики турбинной ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД, степень реактивности и коэффициент расхода ступени. Зависимость момента от скоростной характеристики для турбинной ступени с известной геометрией. Треугольники скоростей для характерных режимов. Влияние способа отнесения. Изменение моментных характеристик в ступени с РСА (регулируемым сопловым аппаратом).

Внешние характеристики ступени нагнетателя. Зависимость теоретического напора от скоростной характеристики (критерия кинематического подобия). Понятие о неустойчивых режимах работы нагнетателя.

Законы закрутки потока за сопловым и рабочим аппаратом турбинной ступени. Примеры изменения параметров потока по радиусу в осевой турбинной ступени при некоторых законах закрутки. Рабочие лопатки переменного сечения.

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

теплоты. Приближенное определение КПД многоступенчатой турбины через КПД входящих в ее состав ступеней. Условие использования выходной кинетической энергии из предыдущей ступени.

Использование многоступенчатых осевых компрессоров. Ограничение на величину теоретического напора одной ступени.

4. Динамика и прочность турбомашин

Конструктивные особенности и прочностные характеристики лопаток постоянного и переменного сечения. Механические свойства и прочностные характеристики материала лопаток и лопаточных связей. Допускаемые напряжения и запасы прочности. Определение напряжений в лопатках от действия рабочего потока, центробежных сил и температуры. Влияние межлопаточных связей и их прочность. Расчет прочности хвостового крепления.

Термическая прочность, трещиностойкость, коррозионное растрескивание, малоцикловая и многоцикловая усталость лопаток. Характеристики и параметры термической прочности лопаточных материалов. Методы определения термической прочности. Пределы ползучести и длительной прочности. Влияние коррозионной среды и напряжений на коррозионное растрескивание. Влияние условий работы лопаток при эксплуатации на характер циклического нагружения. Эмпирические зависимости малоцикловой усталости. Деформационные критерии оценки циклической долговечности. Методики натуральных ресурсных испытаний лопаток и методы расчета их долговечности.

Частотная характеристика лопаток и отстройка от резонанса на рабочих оборотах. Анализ факторов, влияющих на динамическую прочность лопаток. Возмущающие силы, демпфирующие свойства материала и конструкции лопаток. Влияние заделки и гибкости лопаток. Усталостная прочность материала и конструкции лопаток. Условия динамической прочности. Требования к вибрационным характеристикам пакетов, конструктивные мероприятия по изменению частот лопаток. Автоколебания лопаток. Особенности и классификация автоколебаний лопаток. Методы определения динамических напряжений в лопатках и пакетах. Приборы, устройства и методики для определения спектра колебаний.

Конструкции роторов, расчеты тепловых расширений и прочности. Расчет напряженно-деформированного состояния роторов в упругой и упругопластической области. Расчет роторов в условиях установившейся ползучести. Термоусталость роторов. Трещиностойкость деталей роторов в условиях коррозионной среды. Материалы роторов и их деталей, предъявляемые требования и допускаемые напряжения.

Конструкции и прочность корпусов турбомашин, подшипников и их элементов. Тепловые расширения турбомашин, Температурные напряжения стенок корпусов и расчет предельных нагрузок. Конструирование и расчет соединительных фланцев корпусов турбины. Расчет деформаций и напряжений в диафрагмах. Конструкции подшипников, их статические и динамические характеристики.

Колебания вращающихся дисков произвольного профиля. Расчеты критических чисел облопаченных дисков. Повышение вибрационной надежности дисков. Причины колебания роторов. Методы расчета собственных частот ротора. Влияние податливости опор, инерционности дисков и гироскопических моментов. Критические числа оборотов роторов. Критические скорости валов с учетом действия гироскопического эффекта диска и способа закрепления опор. Жесткие и гибкие роторы. Критические числа оборотов многомассовых роторных систем при различных условиях закрепления опор. Автоколебания роторов, неустойчивость валов и самовозбуждающиеся колебания валопроводов. Неустойчивость вала, вызванная внутренним гистерезисом. Неустойчивость вала, вызванная масляными пленками от смазки подшипников. Влияние конструкции и зазоров в уплотнениях и подшипниках на паровую и масляную низкочастотную вибрацию. Самовозбуждающиеся колебания ротора. Способы устранения низкочастотной вибрации. Устойчивость роторных систем. Уравновешивание роторов, типы неуравновешенности роторов и схемы балансировки. Вибрационная надежность и нормы вибрации турбомашин.

5. Основы проектирования паровых турбин и газотурбинных двигателей.

Проектирование ГТД. Исходные данные для проектирования ГТД. Основные характеристики ГТД, которые должны быть обеспечены при проектировании. Основные этапы проектирования. Выбор рациональных сочетаний параметров ГТД простого, сложного и комбинированного цикла.

Определение геометрии и характеристик компрессоров методом моделирования. Обобщенные данные по характеристикам компрессоров. Моделирование компрессоров. Неустойчивые режимы в работе компрессора. Запас устойчивой работы компрессора. Определение частоты вращения турбокомпрессора. Определение размеров первой и последней ступеней осевого компрессора.

Согласование параметров и размеров турбин и компрессоров в генераторах газа ГТД. Определение втулочного отношения и напряжений в рабочей лопатке первой ступени ТВД. Выбор материала лопатки. База данных материалов. Определение температуры лопатки при задании коэффициента запаса по пределу длительной прочности и при задании суммарной накопленной деформации ползучести для заданного спектра эксплуатационных режимов работы ГТД. Определение расхода охлаждающего воздуха, обеспечивающего заданный ресурс лопаток. База данных по эффективности систем охлаждения. Уточнение КПД охлаждаемой турбины. Определение конструктивного образа, размеров и числа ступеней в свободной силовой турбине морского ГТД.

Определение конструктивного образа и размеров трубчато-кольцевой (кольцевой) камеры сгорания. Определение типа, конструктивного образа и размеров затурбинного трубчатого газоздушного теплообменника ГТД. База данных по эффективности теплопередачи поверхности рекуператора. Определение потерь давления в газоздушном тракте ГТД сложного цикла. Определение уточненных характеристик ГТД. Определение исходных данных для проектирования элементов ГТД.

Эскизное проектирование паровых турбин.

Стадии внешнего и внутреннего проектирования турбин. Взаимосвязь проектирования основных элементов ГТЗА. Взаимосвязь внешнего и внутреннего проектирования. Техническое задание на проектирование турбоагрегата. Математическая модель турбины, используемая на стадии внешнего проектирования. Основные варьируемые параметры на стадии внешнего проектирования. Оценка массогабаритных показателей турбины на стадии внешнего проектирования. Предельная мощность одного протока турбины.

Этапы внутреннего проектирования турбин. Структура математической модели, используемой на начальном этапе внутреннего проектирования турбины. Основные варьируемые параметры. Выбор параметров, определяющих конструктивную схему турбоагрегата.

Алгоритм основных проектных операций, выполняемых на начальном этапе внутреннего проектирования турбины.

Влияние основных варьируемых параметров начального этапа внутренней стадии проектирования на характеристики турбины и ее элементов. Влияние числа корпусов (цилиндров) на характеристики турбоагрегата. Влияние соотношения мощностей (перепадов энтальпий) цилиндров высокого и низкого давления на характеристики турбоагрегата. Влияние межкорпусной сепарации на характеристики двухкорпусного агрегата. Влияние веерности последней ступени на характеристики последней ступени, частоты вращения ротора, объемного расхода через последнюю ступень, числа протоков, выбранного расчетного режима работы последней ступени на характеристики турбины и ее элементов. Влияние скоростных характеристик группы однотипных ступеней на параметры турбины и ее элементов. Выбор параметров проточных частей с учетом работы в определенном спектре режимов.

Способы регулирования мощности паровых турбин и влияние их на выбор параметров основных узлов турбин. Влияние конструктивного типа турбины, формы ротора на характеристики турбины и ее элементов.

Осевые усилия в турбинах, их расчет и методы уравнивания. Концевые уплотнения. Регулирующие клапаны, впускные и выхлопные патрубки турбин. Эрозия рабочих лопаток. Защита элементов проточной части от эрозии. Сепарация влаги из проточной части паровой турбины. Выносные сепараторы

6. Переменный режим работы турбомашин и турбоустановок.

Переменный режим работы ступени. Обобщенные характеристики турбинных ступеней. Переменный режим работы многоступенчатой турбины. Распределение давлений по ступеням при различных способах изменении режима работы турбины. Влияние изменения режима работы на КПД турбины. Особенности работы последних ступеней конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара. Система парораспределения. Изменение нагрузки паровой турбины методом скользящего давления. Методы расчета турбин при переменном режиме работы. Загрязнение проточной части. Переменный режим работы газотурбинной установки (ГТУ). Способы изменения режима работы ГТУ. Согласование режимов работы турбомашин. Представление характеристик методами подобия. Зависимость показателей ГТУ от нагрузки и температуры наружного воздуха, ее цикла и схемы. Диаграмма режимов ГТУ. Режим пуска ГТУ, пусковые устройства.

7. Автоматическое регулирование турбоустановок.

Принципы автоматического управления и регулирования. Характеристики систем автоматического регулирования (САР) турбинных двигателей.

Конструирование элементов САР. Математическое описание динамики САР. Устойчивость и переходные процессы САР.

Особенности регулирования ГТУ. Регулирование энергетических блоков с атомными реакторами типа ВВЭР.

Защитные устройства турбинных установок. Автоматизация пуска турбинной установки. Системы автоматического управления.

Основная литература

1. Арсеньев Л.В., Тырьшкин В.Г.. Стационарные газотурбинные установки. Справочник.— Л., «Машиностроение», 1989.
2. Булкин А.Е.. Автоматическое регулирование энергоустановок. Учебное пособие. Издательский дом МЭИ, 2009.
3. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Течение и теплообмен в каналах и вращающихся полостях. М., ФИЗМАТЛИТ, 2010.-488с.
4. Зайцев Ю.И. Основы проектирования судовых паровых турбоагрегатов. Учебник. - Л.: Судостроение 1974. – 439с.
5. Костюк А. Г.. Динамика и прочность турбомашин. Учебник для вузов. - 2-е изд., М., Изд-во МЭИ, 2000.- 479 с.
6. Круглов М.Г., Меднов А.А. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания. М., Машиностроение, 1988. - 360 с.
7. Курзон А.Г., Маслов Л.А. Судовые турбинные установки. Учебник. -Л.: Судостроение, 1991.
8. Левин А.В. и др. Прочность и вибрация лопаток и дисков паровых турбин. Л., Машиностроение, 1981г., 710 с.
9. Погодин Ю.М., Пшеничная К.В. Математическое обеспечение эскизного проектирования судового парового турбоагрегата.: Учебное пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1985, - 101с.
10. Пчелкин Ю.М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Учебник. -М: Машиностроение, 1984.
11. Расчет на прочность авиационных турбинных двигателей. Под ред. И.А. Биргера и Н.И. Котерова. М., Машиностроение. 1984г.
12. Рыбалко В.В. Математическое моделирование процессов в объектах энергетики. Учебное пособие. СПбГМТУ, 2010
13. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок /Елисеев Ю.О., Манушин Э.А. и др. Учебник .- М.: МГТУ им.Баумана, 2000.
14. Теплообменные устройства газотурбинных и комбинированных установок. Под редакцией А.И.Леонтьева.- М : Машиностроение, 1985.
15. Топунов А.М. Теория судовых турбин. Учебник. - Л.: Судостроение, 1985. – 472 с.

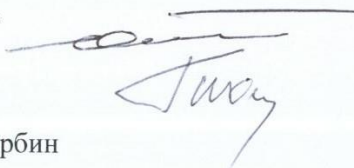
16. Топунов А.М., Погодин Ю.М., Шуповаленко К.В. Определение осредненных показателей проточных устройств. СЭУ. Уч. пособие. Л. ЛКИ., 1987. – 55 с.
17. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин.- М: Машиностроение, 1986.
18. Щегляев А.В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин. Кн.1. Учебник. - М., Энергоатомиздат, 1993. – 384 с.

Дополнительная литература

1. Акимов В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей. - М.: Машиностроение, 1981. - 207 с.
2. Биргер И. А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. Справочник. 4-е изд., доп. - М.: Машиностроение, 1993. - 639 с.
3. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков.—Л., «Машиностроение», 1982.
4. Курзон А.Г. Основы теории и проектирования судовых паротурбинных установок. Учебник. - Л.: Судостроение, 1974.
5. Маслов Л.А. Судовые газотурбинные установки. Учебник. - Л.:Судостроение,1973.
6. Основы проектирования турбин авиадвигателей. Под редакцией С.З.Копелева. -М: Машиностроение,1988.
7. Паровые и газовые турбины / под ред. КостюкаА.Г., Фролова В.В.Учебник. - М.: Энергоатомиздат, 1985г.
8. Фрагин М.С. Регулирование и маслоснабжение паровых турбин.- СПб, Издательско – полиграфическая компания «Коста», 2011
9. Blazek J. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. Amsterdam - London -New York - Oxford - Paris - Shannon -Tokyo ELSEVIER, 2001, 440 p.
10. Horlock J.H. Advanced gas turbine cycles. Elsevier science ltd. 2003.

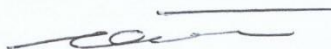
Программа вступительного экзамена по профилю – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки» обсуждена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры 18 января 2014 г., протокол № 1/2014.

Авторы – составители программы,
к.т.н., доцент, профессор
д.т.н., профессор



Ю.М. Погодин
Б.А. Тихомиров

Заведующий кафедрой судовых турбин
и турбинных установок,
к.т.н., доцент, профессор



Ю.М. Погодин

Декан ФКЭ и А,
профессор



С.П. Столяров

Заведующая отделом аспирантуры и
докторантуры, к.т.н., доцент



Т. И. Перегудова