




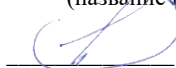
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ДВФУ**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

  
Дорогов Е.Ю.  
(подпись) (Ф.И.О. рук. ОП)  
«07» сентября 2019 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
Теплоэнергетики и теплотехники  
(название кафедры)

  
Штым К.А.  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)  
«07» сентября 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Турбины теплоэлектростанций»**  
Направление подготовки **13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**  
Профиль «Тепловые электрические станции»  
**Форма подготовки: очная**

курс 3,4 семестр 6, 7  
лекции 72 (час.)  
практические занятия 90 час.  
лабораторные работы \_\_\_\_\_ час.  
в том числе с использованием МАО лек.16 / пр. 24 /лаб., - \_\_\_\_\_ час.  
всего часов аудиторной нагрузки 162 (час.)  
самостоятельная работа 162 (час.)  
контрольные работы (количество)  
курсовая работа / курсовый проект 7 семестр  
зачет 6 семестр  
экзамен 7 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного решением Ученого совета ДВФУ, протокол №06-15 от 04.06.2015, и утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 № 12-13-1282.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Теплоэнергетики и теплотехники, протокол № 1 от «07» сентября 2019 г.

Заведующий кафедрой: д.т.н., профессор Штым К.А.  
Составитель: доцент Гончаренко Ю.Б.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Турбины теплоэлектростанций»**

Рабочая программа учебной дисциплины «Турбины теплоэлектростанций» разработана для направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (Б1.В.09). Общая трудоёмкость освоения дисциплины «Турбины теплоэлектростанций» составляет 10 зачётных единиц, 360 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (72 часа), практические занятия (90 часов) и самостоятельная работа студентов (198 часов, из них 36 часов - контроль). Дисциплина относится к обязательной дисциплине вариативной части, реализуется на 3 и 4 курсе в 6-м и 7-м семестре. Дисциплина базируется на знаниях, полученных студентами при изучении:

общих математических и естественнонаучных дисциплин «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Физика», «Химия», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Основы современных информационных технологий»;

обще профессиональных дисциплин «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Гидрогазодинамика», «Безопасность жизнедеятельности», «Электротехника и электроника», «Теплотехнические измерения и автоматизация», «Нетрадиционные возобновляемые источники энергии».

Рабочей программой дисциплины предусмотрено разбивка курса на отдельные разделы, что улучшает восприятие материала студентами при изучении данного курса.

В первом разделе рассмотрен принцип работы паровых и газовых турбин, история создания паро- и газотурбинных двигателей и их современная классификация.

Основное содержание второго раздела - тепловой процесс в турбине, взаимосвязь основных параметров и явлений, определяющих мощность и эффективность действия турбинного двигателя.

Третий раздел посвящен тепловым расчетам паротурбинных агрегатов. Рассмотрены вопросы детального теплового расчета ступеней осевых турбин. Приведена методика расчета регенеративной схемы турбоагрегата.

В четвертом разделе рассмотрены переменные режимы работы паротурбинных агрегатов, способы регулировки мощности при переменных режимах. Приведены основные положения методики расчета паровых турбин при режимах с частичной мощностью.

Основное содержание пятого раздела – переменные режимы работы газотурбинных установок. Рассмотрены вопросы обеспечения режимов с частичной мощностью, влияния параметров наружного воздуха на экономич-

ность ГТУ, а так же рассмотрены некоторые вопросы по снижению вредных выбросов с применением режимных факторов.

**Цель.** Изучение фундаментальных положений теории теплового процесса в турбинных установках и уяснение их физической сущности. Изучение конструкций паровых и газовых турбин и их элементов, а так-же современного состояния паро- и газотурбостроения в мире. Знакомство со стандартным турбинным оборудованием, выпускаемым отечественной промышленностью. Овладение основными принципами проектирования паротурбинных установок, методиками тепловых расчетов паровых турбин на различных режимах, а также конструирования и расчетов на прочность их элементов и узлов.

**Задачами** дисциплины является формирование у студентов следующих навыков:

***иметь представление:***

о роли и месте знаний по дисциплине при освоении основной профессиональной образовательной программы по специальности и в сфере профессиональной деятельности;

об основных научно-технических проблемах, о состоянии и перспективах развития энергетики;

о подходах к проектированию турбин;

***знать:***

принцип действия турбинных установок;

конструктивное выполнение элементов паровых и газовых турбин;

основные уравнения, описывающие процесс преобразования энергии в турбине;

влияние параметров рабочего тела на технико-экономические показатели турбин;

основные схему турбоагрегатов (схему регенеративного подогрева питательной воды, схему укупорки и отсоса пара от уплотнений, масляную схему турбоагрегатов);

структуру и методы учета основных потерь в турбоустановках;

основные принципы проектирования паротурбинных агрегатов;

типы и методы учета напряжений возникающих в основных узлах и деталях турбоустановок.

***уметь:***

работать с нормативными документами, справочной литературой и другими информационными источниками;

проектировать элементы проточной части;

производить расчеты технико-экономических показателей турбоагрегатов;

рассчитывать на прочность основные детали и узлы турбоагрегатов;

***владеет***

принципами проектирования элементов проточной части турбин.

Для успешного изучения дисциплины «Турбины теплоэлектростанций» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

***общекультурные компетенции***

ОК-3, способность проявлять инициативу и принимать ответственные решения, осознавая ответственность за результаты своей профессиональной деятельности

ОК-4, способность творчески воспринимать и использовать достижения науки, техники в профессиональной сфере в соответствии с потребностями регионального и мирового рынка труда

***общепрофессиональные компетенции***

ОПК-2, способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

***профессиональные компетенции***

ПК-8, готовностью к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общекультурные и профессиональные компетенции (элементы компетенций).

<b>Код и формулировка компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>	
ПК-11 способностью к обеспечению грамотной эксплуатации, ремонту, обслуживанию технологического и теплоэнергетического оборудования	Знает	Основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Умеет	Применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Владеет	Приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-12 способностью управлять параметрами производства тепловой и электрической энергии, определять технико-экономические показатели работы основного и вспомогательного теплоэнергетического оборудования	Знает	Основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Умеет	Использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Владеет	Принципами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методиками расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Турбины теплоэлектростанций» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения:

Метод интерактивного обучения **"Групповое обсуждение"** при проведении следующих **лекционных занятий**:

История создания паровых турбин, развитие паротурбостроения в России и СССР, паротурбостроение за рубежом (2 час.)

История создания газотурбинных установок, классификация газотурбинных установок, стандартные обозначения газотурбинных установок (2 час.)

Преобразование энергии потока в соплах (4 час.)

Работа паровых турбин при переменных режимах (4 часа).

Основные положения тепловых расчётов турбин на переменных режимах при различных способах регулирования мощности (4 часа).

Метод интерактивного обучения **"Мастер-класс"** при проведении следующих **практических занятий**:

Занятие 1. Построение процессов в турбине в h-S диаграмме(4 часа)

Занятие 3. Расчет мощностей турбины по отсекам (8 час.)

Занятие 9. Расчет тепловой схемы турбоагрегата в программе BoilerDesigner (8 часов)

Занятие 10. Расчет пропускной способности последних ступеней (4 час.)

# **1. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ**

**6 семестр (36 часов)**

**Раздел I. Принцип действия, история создания турбин и их классификация (12 час.)**

**Тема 1. Принцип работы турбины, общая классификация паровых и газовых турбин (5 час.)**

Определение понятия "турбина". Описание кинематической схемы. Понятие "статор" и "ротор" турбины. Назначение и определение терминов "сопла", "рабочие лопатки" и "проточная часть". Основные условия работы турбины, как теплового двигателя. Общее понятие о превращении энергии в турбине. Подразделение турбин по принципу действия. Понятие "активная" и "реактивная" турбинная ступень. Характер изменения скоростей и давлений в "активной" и "реактивной" турбинной ступени. Подразделение по количеству ступеней. Понятие "одноступенчатые" и "многоступенчатые" турбины. Турбины со ступенями скорости. Характер изменения скоростей и давлений в турбинах со ступенями скорости. Турбины со ступенями давления. Подразделение турбин по направлению потока рабочего вещества турбины. Понятие "осевые", "радиальные" и "тангенциальные" турбины, конструкция.

**Тема 2. История создания паровых турбин, развитие паротурбостроения в России и СССР, паротурбостроение за рубежом (2 час.) с использованием интерактивного метода "Групповое обсуждение"**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема, связанная с историей создания и развития паротурбинных установок в России и за рубежом. Студенты делятся на три-четыре большие подгруппы и каждой подгруппе выделяется определенное время (25-30 минут), в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель может устанавливать определенные правила проведения группового обсуждения. На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

**Тематика для группового обсуждения:**

Использование пара для создания механической энергии. "Эолпил" Герона Александрийского. Колесо Бранка. Паровая машина Залесова. Основные проблемы в развитии паровых турбин. Турбина конструкции Лавала. Паровая турбина Парсонса. Применение турбин для выработки электроэнергии. Первые турбины для выработки электроэнергии.

Турбостроение в России в начале XX века. Значение плана ГОЭЛРО в развитие турбостроения. Основные достижения в освоении параметров и мощностей по годам. Самый мощный турбоагрегат производства России, где установлен. Новое направление в турбостроении - турбины атомных электростанций. Основные заводы России и бывшего СССР. Страны, имеющие наиболее крупные заводы по построению турбин. Наиболее мощные турбины в мире. Основные параметры, на которые изготавливаются турбины за рубежом. Современные тенденции в турбостроении.

### **Тема 3. Классификация паровых турбин, стандартные обозначения паровых турбин (3 час.)**

Классификация турбин по характеру теплового процесса. Турбины конденсационные, без отборов, с отборами, с промежуточным подводом пара и "мятого" пара (назначение, схемы, достоинства и недостатки). Турбины с повышенным давлением на выходе, с ухудшенным вакуумом, с противодавлением и предвключенные (назначение, схемы, достоинства и недостатки). Классификация турбин в зависимости от давления пара поступающего в турбину. ГОСТ на обозначение паровых турбин. Расшифровка параметров при обозначении турбин. Примеры обозначений. Обозначение паровых турбин на теплоэлектростанциях Приморского края.

### **Тема 4. История создания газотурбинных установок, классификация газотурбинных установок, стандартные обозначения газотурбинных установок (2 час.) с использованием интерактивного метода "Групповое обсуждение"**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема, связанная с историей создания газотурбинных установок и их классификацией. Студенты делятся на три большие подгруппы и каждой подгруппе выделяется определенное время (20-30 минут), в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель может устанавливать определенные правила проведения группового обсуждения. На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

#### **Тематика для группового обсуждения:**

Первые идеи использования энергии продуктов сгорания. Основные причины невозможности производства газовых турбин в XIX веке. Схема установки Кузьминского. Первые попытки построения газовых турбин за рубежом. Развитие применения газовых турбин в 30 годах XX века. Успехи в



построении газовых турбин по годам (страны, параметры, мощность). Использование авиационных двигателей для выработки электроэнергии. Классификация по области применения, энергетика, приводные ГТУ, транспорт и авиация. Подразделение по термодинамическому циклу, цикла Брайтона, цикл с  $v = \text{const}$ . Классификация по циркуляции рабочего тела в установках, открытого, замкнутого и полужамкнутого. Подразделение по типу цикла, простого, регенеративного, с промежуточным охлаждением и с промежуточным подогревом. Подразделение по количеству валов. Обозначение турбин и расшифровка параметров. Примеры обозначений ГТУ. Основные достоинства и недостатки ГТУ.

## **Раздел II. Теоретические основы работы паровых турбин (24 час.)**

### **Тема 1. Решётки профилей осевых турбин, основные уравнения, описывающие процессы преобразования энергии в турбине ( 2 час.)**

Геометрические и режимные характеристики решеток. Обозначения основных величин. Классификация решеток профилей. Уравнения закона сохранения энергии. Уравнение сплошности. Уравнение количества движения. Уравнения состояния рабочего вещества.

### **Тема 2. Преобразование энергии потока в соплах ( 4 час.) с использованием интерактивного метода "Групповое обсуждение"**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема, связанная с историей создания и развития паротурбинных установок в России и за рубежом. Студенты делятся на три-четыре большие подгруппы и каждой подгруппе выделяется определенное время (25-30 минут), в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель может устанавливать определенные правила проведения группового обсуждения. На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

#### **Тематика для группового обсуждения:**

Основные выводы из теории истечения паров и газов из сопел. Теоретический процесс расширения пара в сопловой решетке в  $h-s$  диаграмме. Действительный процесс истечения. Потери в соплах. Коэффициент потери энергии в соплах и скоростной коэффициент. Профильные потери. Потери трения в пограничном слое. вихревые потери при отрывах потока на профиле. Вихревые потери за выходной кромкой. Потери в скачках уплотнения. Концевые потери. Потери трения в

пограничном слое у торцевых стенок канала. Потери вследствие вторичных токов (от парного вихря). Расширение потока в косом срезе сопла.

### **Тема 3. Преобразование энергии потока на рабочих лопатках (4 час.)**

Сила, приводящая в движение рабочее колесо и её проекции. Абсолютные скорости элементарной массы и их составляющие. Уравнения Эйлера для окружной и осевой составляющей силы на рабочей лопатке. Степень реакции турбинной ступени. Оптимальная форма профиля рабочих лопаток. Оптимальный профиль при активном типе облопатывания. Оптимальный профиль при наличии реакции в ступени. Потери на рабочих решетках. Коэффициент потери энергии на лопатках и скоростной коэффициент. Профильные потери. Потери на трения в пограничном слое, вихревые потери при отрывах потока на профиле, кромочные потери, потери в скачках уплотнения. Концевые потери. Потери трения в пограничном слое у торцевых стенок, потери вследствие вторичных токов, потери от взаимодействия струи с неподвижным паром (газом) в зазоре между сопловой и рабочей решетками. Концевые потери. Потери трения в пограничном слое у торцевых стенок, потери вследствие вторичных токов, потери от взаимодействия струи с неподвижным паром (газом) в зазоре между сопловой и рабочей решетками.

### **Тема 4. Треугольники скоростей турбинной ступени и процесс расширения в ступени в $h-s$ диаграмме ( 2 час.)**

Треугольники скоростей турбинной ступени. Привязка треугольников скоростей к кромкам рабочей решетки. Абсолютная, относительная скорость потока. Окружная скорость. Подбор профиля рабочих решеток. Построение процесса расширения в ступени в  $h-s$  диаграмме. Построение процесса расширения в активной ступени. Построение процесса расширения в ступени с реакцией. Отображение основных потерь в ступени в  $h_s$  диаграмме. Определение окружного теплоперепада.

### **Тема 5. Окружной КПД турбинной ступени (2 час.)**

Окружной КПД активной турбинной ступени. Понятие "характеристический" коэффициент. Зависимость окружного КПД от "характеристического" коэффициента активной ступени. Окружной КПД турбинной ступени со степенью реакции. Зависимость окружного КПД от "характеристического" коэффициента для ступени со степенью реакции. Понятие "условной характеристики", её связь с "характеристическим" коэффициентом.

### **Тема 6. Турбины со ступенями скорости и многоступенчатые турбины ( 4 час.)**

Причины появления многоступенчатых турбин. Турбины со ступенями скорости. Схема проточной части колеса с двумя ступенями скорости и привязка треугольников скоростей. Оптимальный "характеристический" коэффициент для двух и трехвенечной турбины со ступенями скорости. Процесс расширения пара в двухвенечной ступени в h-s диаграмме при активном и реактивном типе облопатывания. Многоступенчатые турбины со ступенями давления. Особенности работы многоступенчатых турбин со ступенями давления. Использование скоростной энергии выхода и "возвращенное" тепло в многоступенчатых турбинах. Характеристический коэффициент (характеристика) многоступенчатой турбины. Осевые усилия, действующие в проточной части многоступенчатой турбины.

#### **Тема 7. Потери энергии в турбоагрегатах ( 4 час.)**

Классификация потерь. Внутренние потери. Основные потери в проточной части: в соплах, на рабочих лопатках, с выходной скоростью. Вследствие наличия вязкой проволоки. Вследствие парциального впуска. На трение дисков и бандажной ленты и на вентиляцию рабочих лопаток. От влажности пара (для паровых турбин). От утечек через наружные и внутренние уплотнения. В зазорах облопатывания. В перепускных трубах (ресиверах) между корпусами турбоагрегата и на выпускную скорость в конденсатор (для паровых турбин). Потери тепла в окружающую среду. Внешние потери. От трения в подшипниках турбоагрегата. В передаче между турбиной и электрогенератором (если таковая имеется). В электрогенераторе при трансформации энергии. Общий оценочный КПД турбоагрегата и установки в целом. Расход рабочего вещества и тепла на турбину, мощность развиваемая турбиной. Часовой расход рабочего вещества. Удельный расход пара. Выражение для определения мощности, развиваемой турбиной. Мощность, развиваемая турбиной при наличии отборов пара.

#### **Тема 8. Конструктивные особенности выполнения последней ступени мощных конденсационных турбин (2 час.)**

Пути увеличения пропуски пара через последнюю ступень. Разветвленный выхлоп пара в конденсатор. Полуторный выхлоп пара (ступень Баумана). Двухвальные турбоагрегаты. Применение легких металлов. Увеличение выходного угла на последней ступени. Увеличение степени реакции на последней ступени. Повышение давления в конденсаторе.

### **7 семестр (36 часов)**

#### **Раздел III. Тепловые расчеты паротурбинных агрегатов (18 час.)**

## **Тема 1. Тепловые расчёты конденсационных паротурбинных агрегатов ( 4 час.)**

Выбор исходных данных. Мощность на клеммах электрогенератора. Начальное давление пара. Начальная температура пара. Давление в конденсаторе. Частота вращения ротора турбины. Выбор числа корпусов. Выбор типа облопатывания. Колеса с венцами скорости (диски Кертиса). Активные одновенечные ступени. Реактивные одновенечные ступени. Выбор типа регулирующей ступени. Выбор типа облопатывания в области высокого давления. Выбор типа облопатывания в области среднего давления. Выбор типа облопатывания в области низкого давления. Принципиальные схемы и параметры современных мощных паротурбинных агрегатов.

## **Тема 2. Расчёт регенеративной схемы конденсационных паротурбинных агрегатов ( 3 час.)**

Построение процесса в  $h-s$  диаграмме. Построение процесса при отсутствии промежуточного перегрева пара. Построение диаграммы теплового процесса при наличии промежуточного перегрева пара. Расчет регенеративной схемы. Определение исходных данных к составлению уравнений теплового баланса подогревателей. Решение уравнений теплового баланса. Определения расхода пара и мощности по отсекам турбины. Определение технико-экономических показателей.

## **Тема 3. Расчет турбин для комбинированной выработки электроэнергии и тепла (3 час.)**

Схемы турбин для комбинированной выработки электроэнергии и тепла. Расчет регенеративной схемы конденсационных паротурбинных агрегатов с регулируемым отбором пара. Расчет регенеративной схемы на конденсационном режиме. Особенности построения процесса в  $h-S$  диаграмме. Расчет регенеративной схемы при заданном расходе пара в регулируемый отбор. Варианты расчета в зависимости от места возврата конденсата пара регулируемого отбора в регенеративную схему.

## **Тема 4. Предварительный расчёт паровой турбины (2 час.)**

Регулирующая ступень. Предварительный расчет с определением располагаемого перепада в ступени. Расчет с определением среднего диаметра облопатывания ступени. Предварительный расчет последней ступени. Общее число ступеней и разбивка процесса в  $h-S$  диаграмме на теплоперепады по отдельным ступеням.

## **Тема 5. Детальный тепловой расчёт турбинных ступеней, расчет сопловых и рабочих решёток ( 4 час.)**

Расчет сопловых решеток в первом приближении. Выбор профиля для сопловой решетки. Определение предварительной высоты сопловой решетки.

Расчет во втором приближении. Определение потерь по графикам из атласа профилей. Определение уточненной высоты и остальных геометрических характеристик. Расчет рабочих решеток. Расчет в первом приближении. Построение треугольника скоростей. Выбор профиля для рабочей решетки из атласа профилей. Определение предварительной высоты. Сопоставление перекрышей между сопловой и рабочей решеткой. Расчет во втором приближении. Уточнение геометрических характеристик с учетом графиков основных потерь для выбранного профиля. Особенности детального теплового расчета одновенечной ступени. Особенности детального теплового расчета двухвенечной турбинной ступени. Профилирование рабочих лопаток (расчет закрутки рабочих лопаток). Турбинные ступени с диффузором.

#### **Тема 6. Расчёт поверхностных конденсаторов ( 2 час.)**

Цель расчета. Исходные величины для расчетов. Порядок теплового расчета поверхностного конденсатора. Гидравлическое сопротивление конденсатора по водяной стороне. Режимные характеристики конденсатора.

#### **Раздел IV. Переменные режимы работы паровых турбин (10 час.)**

**Тема 1. Работа паровых турбин при переменных режимах ( 4 час.) с использованием интерактивного метода "Групповое обсуждение".**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема, связанная с работой паровых турбин на переменных режимах. Студенты делятся на три-четыре большие подгруппы и каждой подгруппе выделяется определенное время (25-30 минут), в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель может устанавливать определенные правила проведения группового обсуждения. На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

#### **Тематика для группового обсуждения:**

Две группы переменных режимов. Переменные режимы для обеспечения требующейся мощности. Схема соплового регулирования. Схема турбинного корпуса с обводным регулированием. Схема регулирования при отключении отборов пара. Турбина с дроссельным регулированием. Влияние различных способов регулирования мощности на тепловой процесс в турбине. Тепловой процесс при количественном регулировании. Тепловой процесс при качественном регулировании. Зависимость расходов рабочего вещества и давлений в ступенях при переменных режимах в многоступенчатых турбинах. Изменение степени

реакции в ступени. Изменение КПД при переменных режимах. Переменные режимы паротурбинного агрегата при изменении параметров пара. Влияние изменения начального давления. Влияние изменения начальной температуры. Влияние изменения давления пара в конденсаторе.

## **Тема 2. Основные положения тепловых расчётов турбин на переменных режимах при различных способах регулирования мощности (4 час.) с использованием интерактивного метода "Групповое обсуждение"**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема, связанная с работой паровых турбин на переменных режимах. Студенты делятся на три-четыре большие подгруппы и каждой подгруппе выделяется определенное время (25-30 минут), в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель может устанавливать определенные правила проведения группового обсуждения. На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

### **Тематика для группового обсуждения:**

Способы регулирования мощности. Сопловое парораспределение. Схема соплового парораспределения. Закономерность открытия клапанов при изменении нагрузки. Тепловой процесс в регулировочной ступени. Диаграммы режимов турбины при сопловом регулировании. Обводное парораспределение. Схема обводного парораспределения. Тепловой процесс в турбине и в первой группе ступеней при обводном регулировании. Диаграмма режимов при наличии обводного регулирования. Дроссельное парораспределение. Схема турбины и тепловой процесс при дроссельном регулировании. Тепловые расчеты при переменных режимах турбин с противодавлением. Принципиальная схема турбины с противодавлением. Тепловые расчеты при переменных режимах турбин с промежуточным регулируемым отбором пара. Схема турбоагрегата со связанной системой регулирования.

### **Тема 3. Диаграммы режимов турбоагрегатов (2 час.)**

Диаграмма режимов для турбины с одним регулируемым отбором. Схема турбины и тепловой процесс при двух регулируемых отборах. Диаграмма режимов турбины с двумя регулируемыми отборами разного назначения. Диаграмма режимов конденсационного турбоагрегата с двумя

регулируемыми теплофикационными отборами пара. Принципиальная схема турбины Т-100-130 и диаграмма режимов.

## **Раздел V. Переменные режимы работы газотурбинных установок (8 час.)**

### **Тема 1. Статическая характеристика энергетических ГТУ (2 час.)**

Универсальная характеристика компрессора и совмещенные характеристики компрессора и ГТ одновальной энергетической ГТУ. Понятие "граница помпажа". Зона допустимых режимов работы ГТУ. Изменение давления и температуры по тракту ГТУ. Влияние степени повышения давления воздуха в компрессоре на температуру выходных газов ГТ.

### **Тема 2. Способы регулирования нагрузки ГТУ (2 час.)**

Количественное, качественное и смешенное регулирование. Режимные характеристики одновальной энергетической ГТУ. Применение ВНА и поворотных направляющих аппаратов (ПНА). Программа снижения электрической нагрузки ГТУ типа GTX 100. Принципиальная тепловая схема спаренной установки ГТУ и изменение экономичности ГТУ типа FT8-30.

### **Тема 3. Влияние параметров наружного воздуха на характеристики ГТУ (2 час.)**

Определение изменения электрической мощности ГТУ при номинальной нагрузке в зависимости от атмосферного давления. Влияние влагосодержания воздуха на характеристики энергетической ГТУ. Влияние температуры наружного воздуха на основные характеристики энергетической ГТУ. Влияние температуры наружного воздуха на электрическую мощность энергетической ГТУ. Влияние температуры наружного воздуха на электрический КПД энергетической ГТУ. Влияние температуры наружного воздуха на расход выходных газов.

### **Тема 4. Стабилизация температуры воздуха, поступающего в компрессор ГТУ и впрыск воды и пара в ГТУ (2 час.)**

Воздействие на характеристики энергетической ГТУ изменением угла открытия ВНА компрессора. Увеличение температуры воздуха на входе в компрессор. Снижение температуры воздуха на входе в компрессор. Испарительное охлаждение. Влияние испарительного охлаждения на характеристики энергетической ГТУ. Влияние подачи водяного пара в КС на выход NO<sub>x</sub> и CO. Влияние впрыска пара в КС ГТУ на электрическую мощность и температуру выходных газов.

## **2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Практические занятия (90 час.)**

**6 семестр (54 часа)**

**Занятие 1. Построение процессов в турбине в h-S диаграмме(4 часа)  
с использованием метода интерактивного обучения «Мастер-класс»**

Основные преимущества мастер-класса — это уникальное сочетание короткой теоретической части и индивидуальной работы, направленной на приобретение и закрепление практических знаний и навыков

**Вступление** Преподавателем показываются основные способы построение процессов расширения пара в h-S диаграмме с использованием бумажной диаграммы (или рабочего планшета, учебной доски) и электронного аналога, объясняются основные достоинства и недостатки обоих способов.

**Основная часть** Преподаватель последовательно выполняет построение процесса в h-S диаграмме на бумажном носителе (или рабочего планшета, учебной доски) и в электронном виде на компьютере, акцентируя внимание на возможных сложностях и этапах, где возможно совершение ошибок. После этого студентами индивидуально выполняется аналогичное построение. Преподаватель выполняет роль консультанта, организует самостоятельную работу студентов и управляет ею. Преподаватель совместно со студентами проводит обсуждение получившихся процессов по результатам проведенного занятия.

**Выводы** проводится дискуссия по результатам совместной деятельности преподавателя и студентов.

Темы проведения мастер-классов

Построение процесса в области перегретого пара.

Построение процесса в области влажного пара.

Построение адиабатного расширения пара в турбине.

Построение действительного расширения пара в турбине без промежуточного перегрева.

Построение действительного расширения пара в турбине при наличии промежуточного перегрева.

**Занятие 2. Расчет уравнений теплового баланса для регенеративных подогревателей (12 час.).**

Определение исходных данных для уравнений теплового баланса.

Составление и решение уравнений теплового баланса для одного подогревателя.

Составление и решение уравнений теплового баланса для нескольких подогревателей.



Составление и решение уравнений теплового баланса для точки смешения.

### **Занятие 3. Расчет мощностей турбины по отсекам (8 час.) с использованием метода интерактивного обучения «Мастер-класс»**

Основные преимущества мастер-класса — это уникальное сочетание короткой теоретической части и индивидуальной работы, направленной на приобретение и закрепление практических знаний и навыков

**Вступление** Преподавателем показываются основные способы построения процессов расширения пара в  $h$ - $S$  диаграмме с использованием бумажной диаграммы (или рабочего планшета, учебной доски) и электронного аналога, объясняются основные достоинства и недостатки обоих способов.

**Основная часть** Преподаватель последовательно расчет расхода пара по отсекам, определяет мощность отсека паровой турбины, показывает порядок расчета мощности турбины при отсутствии и наличии отборов, акцентируя внимание на возможных сложностях и этапах, где возможно совершение ошибок. После этого студентами индивидуально выполняется аналогичные расчеты. Преподаватель выполняет роль консультанта, организует самостоятельную работу студентов и управляет ею. Преподаватель совместно со студентами проводит обсуждение полученных результатов.

**Выводы** проводится дискуссия по результатам совместной деятельности преподавателя и студентов.

Темы проведения мастер-классов

Расчет расхода пара по отсекам турбины.

Определение мощности отсека паровой турбины.

Расчет мощности турбины без отборов пара.

Расчет мощности турбины при наличии отборов пара.

### **Занятие 4. Определение основных технико-экономических показателей цикла ПСУ (12 час.).**

Влияние начального давления на КПД ПСУ.

Влияние начальной температуры на КПД ПСУ.

Влияние давления в конденсаторе на КПД ПСУ.

Определение оптимального давления для регенеративного подогрева.

Определение оптимального давления для промежуточного перегрева.

Определение КПД циклов для станций Приморского края.

### **Занятие 5. Решетки профилей осевых турбин (4 час.).**

Основные характеристик профиля.

Расчет геометрических и режимных характеристик профиля.

### **Занятие 6. Расчет теоретического и действительного процесса в соплах (8 час.).**

Определение теоретических характеристик сходящихся сопловых решеток.

Определение действительных характеристик сходящихся сопловых решеток.

Построение процесса в  $h$ - $S$  диаграмме для сопловой решетки.

Расчет сопловой решетки с косым срезом.

Подбор профиля для сопловой решетки.

**Занятие 7. Подбор профилей рабочих решеток (6 час.).**

Выбор профиля для рабочих решеток.

Определение режимных характеристик рабочей решетки.

Определение геометрических характеристик рабочей решетки.

### **7 семестр (36 часов)**

**Занятие 8. Треугольники скоростей рабочих решеток (6 час.).**

Графическое построение треугольников скоростей для рабочих решеток.

Построение эскизов рабочей лопатки.

Расчетное определение скоростей без построения треугольников скоростей.

**Занятие 9. Расчет тепловой схемы турбоагрегата в программе BoilerDesigner (8 часов) с использованием метода интерактивного обучения «Мастер-класс».**

Основные преимущества мастер-класса — это уникальное сочетание короткой теоретической части и индивидуальной работы, направленной на приобретение и закрепление практических знаний и навыков.

**Вступление** Преподавателем показываются основы работы с программой **BoilerDesigner** и последовательность расчета тепловой схемы турбоагрегата.

**Основная часть** Преподаватель последовательно выполняет построение тепловой схемы в программе, заполнение исходных данных и производит расчет, акцентируя внимание на возможных сложностях и этапах, где возможно совершение ошибок. После этого студентами индивидуально выполняется аналогичное вычисление. Преподаватель выполняет роль консультанта, организует самостоятельную работу студентов и управляет ею. Преподаватель совместно со студентами проводит обсуждение получившихся моделей по результатам проведенного занятия.

**Выводы** проводится дискуссия по результатам совместной деятельности преподавателя и студентов.

Темы проведения мастер-классов

Построение тепловой схемы паровой турбины.

Ввод исходных данных и проверка корректности решения, работа с ошибками.

Расчет тепловой схемы с переменным давлением в конденсаторе, определение оптимального давления в конденсаторе.

Оценка влияния места возврата конденсата на экономичность паротурбинной установки (каскадный слив и с дренажным насосом).

Оценка влияния отключения ПВД и ПНД на экономичность паротурбинной установки.

**Занятие 10. Расчет пропускной способности последних ступеней (4 час.) с использованием метода интерактивного обучения «Мастер-класс».**

Основные преимущества мастер-класса — это уникальное сочетание короткой теоретической части и индивидуальной работы, направленной на приобретение и закрепление практических знаний и навыков

**Вступление** Преподавателем показывается основы работы с программой **BoilerDesigner** и последовательность расчета тепловой схемы турбоагрегата.

**Основная часть** Преподаватель последовательно выполняет расчеты с определением параметров последних ступеней паровых турбин. После этого студентами индивидуально выполняется аналогичное вычисление. Преподаватель выполняет роль консультанта, организует самостоятельную работу студентов и управляет ею. Преподаватель совместно со студентами проводит обсуждение получившихся результатов.

**Выводы** проводится дискуссия по результатам совместной деятельности преподавателя и студентов.

Темы проведения мастер-классов

Определение максимальной высоты последней ступени при различных мощностях турбины

Определение максимальной мощности по выбранной высоте турбинной ступени

Расчет пропускной способности ступени Баумана

Влияние на высоту последней ступени давления на выхлопе в конденсатор

**Занятие 11. Предварительный расчет паровой турбины (6 час.).**

Разбивка процесса в  $h-S$  диаграмме на теплоперепады в отдельных ступенях

Расчет теплоперепада приходящегося на регулируемую ступень

Расчет теплоперепада приходящегося на последнюю ступень

**Занятие 12. Расчет поверхностных конденсаторов (6 час.).**

Тепловой расчет поверхностного конденсатора

Гидравлический расчет поверхностного конденсатора

### **Занятие 13. Диаграммы режимов паровых турбин (6 час.).**

Работа с диаграммой режимов турбины с одним регулирующим отбором;

Работа с диаграммой турбины с двумя регулирующими отборами одного назначения;

Работа с диаграммой режимов турбин с двумя регулируемыми отборами разного назначения

## **3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Турбины теплоэлектростанций» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

## **4. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Принцип действия, история создания турбин и их классификация	ПК-11	знает	УО-1	6
			умеет	ПР-2	38
			владеет	ПР-2	41
		ПК-12	знает	УО-1	47
			умеет	ПР-2	50
			владеет	ПР-2	54
2	Раздел II. Теоретические основы работы паровых турбин	ПК-11	знает	УО-1	1,2
			умеет	ПР-2	3,4
			владеет	ПР-2	5
		ПК-12	знает	УО-1	7,8
			умеет	ПР-2	9,10
			владеет	ПР-2	11

3	Раздел III. Тепловые расчеты паротурбинных агрегатов	ПК-11	знает	УО-1	39,40
			умеет	ПР-3	42,43
			владеет	ПР-3	44,45
		ПК-12	знает	УО-1	46
			умеет	ПР-3	48,49
			владеет	ПР-3	51,52,53
4	Раздел IV. Переменные режимы работы паровых турбин	ПК-11	знает	УО-1	81
			умеет	ПР-3	83
			владеет	ПР-3	82
		ПК-12	знает	УО-1	86
			умеет	ПР-3	85
			владеет	ПР-3	84
5	Раздел V. Переменные режимы работы газотурбинных установок	ПК-11	знает	УО-1	87
			умеет	ПР-3	90,107
			владеет	ПР-3	88,106
		ПК-12	знает	УО-1	91
			умеет	ПР-3	89,111
			владеет	ПР-3	92

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **5. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Марочек В.И., Гончаренко Ю.Б. Турбины ТЭС: учебное пособие для вузов [Электронный ресурс]/Инженерная школа ДВФУ. - Электрон. дан. - Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2015. - [309 с.]. - 1 CD.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:818544&theme=FEFU>

2. Паровые и газовые турбины для электростанций [Электронный ресурс] : учеб. / Костюк А.Г. [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. — 557 с. — Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/72260>. — Загл. с экрана.

3. Булкин А.Е., Тихоходные паровые турбины атомных электрических станций: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Булкин А.Е., Трухний А.Д.. — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом

МЭИ, 2011. — 364 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72308>. — Загл. с экрана.

4. Газотурбинные энергетические установки [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Цанев С.В. [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2011. — 428 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72219>. — Загл. с экрана

5. Михальцев, В.Е. Теория и проектирование газовой турбины. Часть 2. «Теория и проектирование многоступенчатой газовой турбины» [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Е. Михальцев, В.Д. Моляков. — Электрон. дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 116 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/52120>. — Загл. с экрана.

### Дополнительная литература

6. Эжекторы конденсационных установок паровых турбин: учебное пособие [Электронный ресурс] / К.Э. Аронсон [и др.]. — Электрон. дан. — Екатеринбург : УрФУ, 2015. — 131 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99023>. — Загл. с экрана.

7. Сахин, В.В. Устройство и действие энергетических установок. Кн. 1. Поршневые машины. Паровые турбины: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2015. — 172 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/75171> — Загл. с экрана.

8. Сахин, В.В. Устройство и действие энергетических установок. Кн. 2. Газовые турбины. Теплообменные аппараты: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2015. — 133 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/75162>. — Загл. с экрана.

9. Иванов, В.Л. Воздушное охлаждение лопаток газовых турбин [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 94 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/52264>. — Загл. с экрана.

10. В.И.Марочек, Ю.Д.Башаров, Н.Н.Попов. Проектирование паротурбинных агрегатов. Тепловые расчеты. Учебное пособие. Владивосток, ДВГТУ, 1994 г., 100 с. ил.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:380336&theme=FEFU>

11. Марочек В.И., Гончаренко Ю.Б. Турбины ТЭС и АЭС. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003.-440 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:398225&theme=FEFU>

## Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Научная библиотека ДВФУ. Публичный онлайн каталог  
<https://lib.dvfu.ru:8443/search/query?theme=FEFU>

Электронно-библиотечная система Лань <https://e.lanbook.com/>

Информация о библиотеке НЭЛБУК <http://www.nelbook.ru/>

Каталог научно-технической литературы <http://techlibrary.ru/>

Расчетный сервер НИУ МЭИ. Интерактивный интернет-справочник МЭИ [http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU\\_Book\\_New/mas/index.html](http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/index.html)

## Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При чтении лекций по всем темам активно используется компьютерная техника для демонстрации слайдов с помощью программного приложения Microsoft Power Point и Adobe Reader. Для показа видеофильмов по тематике изучаемой дисциплины используется VLC media player, — бесплатный и свободный кросс-платформенный медиаплеер и медиaplatforma с открытым исходным кодом.

На практических занятиях студенты выполняют расчёты в приложении Microsoft Excel и готовят отчеты по практическим работам с помощью программного приложения Microsoft Word. Для решения ряда практических задач студентами используется сертифицированный набор программ для вычислений свойств воды/водяного пара, газов и смесей газов "WaterSteamPro"<sup>TM</sup>. Для расчета проектирования и тепловых схем паротурбинных агрегатов используется программа BoilerDesigner.

Для самостоятельного изучения учебных пособий студентами используются приложения: Adobe Reader, WinDjView.

Для графического оформления схем и чертежей студентами используются системы автоматизированного проектирования КОМПАС или AutoCAD.

Для проверки знаний по различным темам и разделам изученных в ходе аудиторных занятий, а так же в процессе самостоятельной работы используется система программ для создания и проведения компьютерного тестирования, сбора и анализа их результатов MyTestX.

Для рассылки, переписки и обсуждения возникших учебных проблем используется электронная почта, технология и предоставляемые ею услуги по пересылке и получению электронных сообщений, называемых «письма» или «электронные письма», по распределённой, в том числе глобальной, компьютерной сети, преподавателя и обучающихся

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Успешное усвоение курса предполагает активное, творческое участие студента на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной работы. *Общие рекомендации:* изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы и разработок, указанных в программе, особое внимание уделяется целям, задачам, структуре и содержанию курса. *Работа с конспектом лекций.* Просмотрите конспект сразу после занятий. Пометьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю. Каждую неделю рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Важно проводить дополнительную работу с текстом конспекта: внимательно прочитать его; дополнить записи материалами из других источников, рекомендованных преподавателем; выделить все незнакомые понятия и термины и в дальнейшем поместить их в словарь. Наличие словаря определяет степень готовности студента к экзамену и работает как допуск к заключительному этапу аттестации. Необходимо систематически готовиться к практическим занятиям, изучать рекомендованные к прочтению статьи и другие материалы. Методический материал, обеспечивает рациональную организацию самостоятельной работы студентов на основе систематизированной информации по темам занятий курса. Практика – один из наиболее сложных и в то же время плодотворных видов (форм) вузовского обучения и воспитания. В условиях высшей школы практика – один из видов практических занятий, проводимых под руководством преподавателя, ведущего научные исследования по тематике практики и являющегося знатоком данной проблемы или отрасли научного знания. Практика предназначается для углубленного изучения той или иной дисциплины и овладения методологией применительно к особенностям изучаемой отрасли науки. Можно отметить, однако, что при изучении дисциплины в вузе практика является не просто видом практических занятий, а, наряду с лекцией, основной формой учебного процесса. Ведущей дидактической целью практических занятий является систематизация и обобщение знаний по изучаемой теме, разделу, формирование умений работать с



дополнительными источниками информации, сопоставлять и сравнивать точки зрения, конспектировать прочитанное, высказывать свою точку зрения и т.п. В соответствии с ведущей дидактической целью содержанием практических занятий являются узловые, наиболее трудные для понимания и усвоения темы, разделы дисциплины. Спецификой данной формы ведения занятия является совместная работа преподавателя и студентов над решением практических задач, а сам поиск верного ответа строится на основе чередования индивидуальной и коллективной деятельности. Оценка производится через механизм совместного обсуждения, сопоставления предложенных вариантов ответов с теоретическими и эмпирическими научными знаниями, относящимися к данной предметной области. Это ведет к возрастанию возможностей осуществления самооценки собственных знаний, умений и навыков, выявлению студентами «белых пятен» в системе своих знаний, повышению познавательной активности.

Университет обеспечивает учебно-методическую и материально-техническую базу для организации самостоятельной работы студентов.

Библиотека университета обеспечивает:

учебный процесс необходимой литературой и информацией (комплектует библиотечный фонд учебной, методической, научной, периодической, справочной и художественной литературой в соответствии с учебными планами и программами, в том числе на электронных носителях);

доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.

Кафедра:

обеспечивает доступность всего необходимого учебно-методического и справочного материала;

разрабатывает: учебно-методические комплексы, программы, пособия, материалы по учебным дисциплинам в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами;

методические рекомендации, пособия по организации самостоятельной работы студентов;

задания для самостоятельной работы;

темы рефератов и докладов;

вопросы к экзаменам и зачетам.

Изучение каждой дисциплины заканчивается определенными методами контроля, к которым относятся: текущая аттестация, зачеты и экзамены. Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. При

подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Первоначально следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом опорные конспекты лекций. Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний. Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В ходе обучения по курсу «Турбины теплоэлектростанций» используются следующие средства:

- а) мультимедийные аудитории оснащенные проектором и динамиками для проведения аудиовизуальных презентаций;
- б) специализированная аудитория (Е934) оснащенная наглядными пособиями в виде элементов турбинной установки, плакатами и чертежам;
- в) аудитории оснащенные компьютерами для проведения практических занятий;
- г) программное обеспечение Boiler Designer
- д) набор программ для вычислений свойств воды/водяного пара, газов и смесей газов "WaterSteamPro"<sup>TM</sup>
- е) MyTestX - система программ для создания и проведения компьютерного тестирования знаний, сбора и анализа результатов

<b>Наименование оборудованных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень основного оборудования</b>
Компьютерный класс, Ауд. Е559 г	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty

Компьютерный класс, Ауд. E559 а	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty
Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду (корпус А - уровень 10)	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty  Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек.  Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеоувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками
Мультимедийная аудитория E933, E934, E433	проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avertvision; подсистема видеокмутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; беспроводные ЛВС обеспечены системой на базе точек доступа 802.11a/b/g/n 2x2 MIMO(2SS)

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
по дисциплине «Турбины теплоэлектростанций»**  
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
профиль «Тепловые электрические станции»  
Форма подготовки: очная

**Владивосток  
2019**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	6 семестр	изучение учебного пособия, тема "Конструктивное выполнение деталей и узлов паровых турбин"	55	УО-1, ПР-4
2	6 семестр	изучение учебного пособия, тема "Теоретические основы работы ГТУ"	35	УО-2, ПР-2
3	7 семестр	изучение учебного пособия, тема "Прочностные расчёты паротурбинных агрегатов "	20	УО-2, ПР-3
4	7 семестр	Курсовой проект	52	УО-3, ПР-1
5	7 семестр	Подготовка к экзамену	36	Экзамен Вопросы 1-112

### Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Задание №1-3 (п.1-3). Изучение учебного пособия [1, основная литература] на тему "Конструктивное выполнение деталей и узлов паровых турбин", "Теоретические основы работы ГТУ", "Прочностные расчёты паротурбинных агрегатов ".

Студенты самостоятельно изучают электронное учебное пособие по заданным тематикам. В ходе организации самостоятельного изучения учебного пособия студентами решаются следующие задачи:

- углублять и расширять профессиональные знания студентов;
- сформировать интерес к учебно-познавательной деятельности;
- научить студентов овладевать приемами процесса познания;
- развивать у них самостоятельность, активность, ответственность;
- развивать познавательные способности будущих специалистов.

Задание №4 (п. 4). Курсовой проект. Студентами самостоятельно выполняется проектирование паровой турбины заданной мощности с заданными параметрами свежего пара и давлением пара в конденсаторе. Производятся расчет регенеративной схемы, предварительный расчет турбины и детальный тепловой расчет заданных ступеней турбины. Конструируется и рассчитывается на прочность следующие детали: рабочую лопатку заданной ступени, бандажную ленту и связная проволока, обод диска той же ступени, корпус турбины, включая фланец, в месте расположения рассчитанных ступеней. Выполняется графическая часть в составе: чертеж принципиальной тепловой схемы турбоагрегата (формат А4), эскизы треугольников скоростей (формат А4), эскизы к расчету на прочность (формат А4) и чертеж спроектированного участка проточной части (формат А1)

Задание №5. Подготовка к экзамену. Студенты самостоятельно готовятся к зачету и экзамену по приведенным вопросам (приложение 2).

Задания №1-3. Задания готовятся устно и представляются в виде ответов при проведении собеседования. Для контроля используются оценочные средства текущего контроля УО-2 приведенные в ФОС (приложение 2).

Задание №4. Выполняется в виде пояснительной записки с графическим материалом: чертеж принципиальной тепловой схемы турбоагрегата (формат А4), эскизы треугольников скоростей (формат А4), эскизы к расчету на прочность (формат А4) и чертеж спроектированного участка проточной части (формат А1). Оформление производится согласно "Требования к оформлению письменных работ, выполняемых студентами и слушателями ДВФУ", г. Владивосток, 2011 год. Для контроля используются оценочные средства текущего контроля ПР-1 приведенные в ФОС (приложение 2).

Задание №5. Выполняется письменно в виде ответов на вопросы при проведении зачетов или экзамена, форма оформления свободная. Для контроля используются оценочные средства промежуточной аттестации в виде вопросов приведенных в ФОС (приложение 2).

## **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

### **Критерии оценки (устный ответ) на собеседовании**

100-85 баллов (отлично) - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

85-76 - баллов (хорошо)- ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

75-61 - балл (удовлетворительно) – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

60-50 баллов (неудовлетворительно)– ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области

### **Критерии оценки при ответе (письменный ответ) на зачетные/экзаменационные вопросы**

100-86 баллов (отлично) - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

85-76 - баллов (хорошо) - знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы.

В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

75-61 - балл (удовлетворительно) – фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определено и последовательно изложить ответ.

60-50 баллов (неудовлетворительно) – незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Турбины теплоэлектростанций»**  
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
профиль «Тепловые электрические станции»  
Форма подготовки: очная

**Владивосток**  
**2019**

**Паспорт фонда оценочных средств  
по дисциплине Турбины теплоэлектростанций**

(наименование дисциплины)

<b>Код и формулировка компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>	
ПК-11 способностью к обеспечению грамотной эксплуатации, ремонту, обслуживанию технологического и теплоэнергетического оборудования	Знает	Основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Умеет	Применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Владеет	Приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
ПК-12 способностью управлять параметрами производства тепловой и электрической энергии, определять технико-экономические показатели работы основного и вспомогательного теплоэнергетического оборудования	Знает	Основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Умеет	Использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Владеет	Принципами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методиками расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Принцип действия, история создания турбин и их классификация	ПК-11	знает	УО-1	1,2,3,4
			умеет	ПР-2	5,6,7,8
			владеет	ПР-2	9,10,11,12
		ПК-12	знает	УО-1	13,14,15,16
			умеет	ПР-2	17,18,19,20
			владеет	ПР-2	21,22,23,24
2	Раздел II. Теоретические основы работы паровых турбин	ПК-11	знает	УО-1	25,26,27,28
			умеет	ПР-2	29,30,31,32
			владеет	ПР-2	33,34,35,36
		ПК-12	знает	УО-1	37,38,39,40
			умеет	ПР-2	41,42,43,45
			владеет	ПР-2	46,47,48,49
3	Раздел III. Тепловые расчеты паротурбинных агрегатов	ПК-11	знает	УО-1	50,51,52,53
			умеет	ПР-2	54,55,56,57
			владеет	ПР-2	58,59,60,61
		ПК-12	знает	УО-1	62,63,64,65
			умеет	ПР-2	66,67,68,69
			владеет	ПР-2	70,71,72
4	Раздел IV. Переменные режимы работы паровых турбин	ПК-11	знает	УО-1	73,74,75
			умеет	ПР-3	76,77,78,79
			владеет	ПР-3	80,81,82
		ПК-12	знает	УО-1	83,84,85,86
			умеет	ПР-3	87,88,89
			владеет	ПР-3	90,91,92,93
5	Раздел V. Переменные режимы работы газотурбинных установок	ПК-11	знает	УО-1	94,95,96
			умеет	ПР-3	97,98,99,100
			владеет	ПР-3	101,102,103
		ПК-12	знает	УО-1	104,105,106
			умеет	ПР-3	107,108,109
			владеет	ПР-3	110,111,112

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	Показатели
ПК-11 способностью к обеспечению грамотной эксплуатации, ремонту, обслуживанию технологического и теплоэнергетического оборудования	знает (пороговый уровень)	Основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Знание основных принципов грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Способен дать определения основных принципов грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	умеет (продвинутый)	Применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Умение применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Умеет обосновать применение основных принципов грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Владеет (высокий)	Приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Владение приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Владеет приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
ПК-12 способностью управлять параметрами производства тепловой и электрической энергии, определять технико-экономические	знает (пороговый уровень)	Основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-экономические показатели рабо-	Знает основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-	Способен дать определения основных принципов управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, может рассказать основные

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	Показатели
показатели работы основного и вспомогательного теплоэнергетического оборудования		ты паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	положения методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	умеет (продвинутый)	Использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Умение использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Умеет обосновать использование основных принципов управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, способен применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций
	Владеет (высокий)	Принципами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методиками расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций	Владение методами термодинамического анализа	Владеет приемами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, может выполнить расчет технико-экономических показателей работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Зачетно-экзаменационные материалы**

#### Список вопросов к зачету

1. Характеристики решеток профилей сопел и рабочих лопаток.
2. Окружной КПД и характеристический коэффициент турбин со ступенями скорости.
3. Система укупорки уплотнений и отсоса пара от уплотнений.
4. Основные уравнения, описывающие процесс преобразования энергии в турбине.
5. Треугольники скоростей турбин со ступенями скорости.
6. Масляная система турбоагрегата.
7. Преобразование энергии в соплах.
8. Построение процесса активной турбины со ступенями скорости в тепловой диаграмме.
9. Динамическая балансировка роторов.
10. Действительный процесс истечения из сопел.
11. Построение процесса в тепловой диаграмме для турбины со ступенями скорости при наличии реакции на венцах.
12. Воздушные конденсационные устройства с “сухими” градирнями. Схема комплекса.
13. Потери энергии в соплах. Коэффициенты потери скорости и потери энергии.
14. Многоступенчатые турбины. Принцип их действия и причины появления.
15. Типы водяных конденсаторов, их разновидности и устройство.
16. Работа косога среза сопла.
17. Особенности работы многоступенчатых турбин.
18. Защита рабочих лопаток от воздействия влаги.
19. Преобразование энергии на лопатках. Сила, действующая на лопатки.
20. Характеристический коэффициент многоступенчатой турбины
21. Регуляторы предельного числа оборотов.
22. Преобразование энергии на лопатках; работы, совершаемая потоком вещества.
23. Форма профиля рабочих лопаток и факторы ее определяющие.
24. Классификация потерь в турбоагрегатах. Общая оценка внутренних потерь.

25. Стандартные обозначения паровых турбин (новые).
26. Принцип действия и конструктивное оформление подвижных опор турбинных корпусов.
27. Потери на рабочих лопатках.
28. Определение мощности турбины с отборами пара.
29. Стандартные обозначения паровых турбин (старые).
30. Степень реакции турбинной ступени. Определение и связь с тепловым процессом.
31. Расход пара на турбину и формула для определения мощности.
32. Основные этапы развития отечественного паротурбостроения и его современное состояние (типы, мощности, параметры турбин).
33. Построение треугольников скоростей активной турбинной ступени.
34. Потери на трение дисков и вентиляцию рабочих лопаток.
35. Турбины с повышенным давлением на выходе. Их классификация.
36. Построение треугольников скоростей реактивной турбинной ступени.
37. Потери от влажности пара. Причины, учет.
38. Классификация паровых турбин по характеру теплового процесса.
39. Построение процесса активной турбинной ступени в тепловой диаграмме.
40. Потери от утечки через наружные и внутренние уплотнения.
41. Регуляторы постоянного числа оборотов.
42. Построение процесса реактивной турбинной ступени в тепловой диаграмме.
43. Переменные режимы паровых турбин. Общая классификация и способы обеспечения.
44. Классификация уплотнительных устройств турбинных корпусов.
45. Окружной КПД турбинной ступени, его связь с характеристическим коэффициентом.
46. Изменение теплового процесса в турбине при изменении расхода пара.
47. Особенности сопловых аппаратов газовых турбин.
48. Характеристический коэффициент турбинной ступени; его влияние на КПД ступени.
49. Изменение теплового процесса при дроссельном регулировании.
50. Конденсационные установки. Их назначение и состав.
51. Тепловой процесс при переменных режимах с изменением начального давления, начальной температуры и давления в конденсаторе.

52. Построение треугольников скоростей при наличии реакции в ступе-  
ни
53. Место и назначение уплотнений в турбинных корпусах.
54. Меры, принимаемые в турбоагрегатах атомных электростанций, для  
защиты их от влаги.
55. Влияние радиальных и осевых зазоров в проточной части на эффек-  
тивность работы турбинной ступени.
56. Принципиальная схема регенеративного подогрева питательной во-  
ды паротурбинного агрегата.
57. Коэффициент возвращенного тепла.
58. Основные положения расчета сопловых решеток.
59. Соединительные муфты, их назначение и разновидности.
60. Использование выходной энергии в многоступенчатых турбинах.
61. Основные положения расчета рабочих решеток.
62. Особенности рабочих лопаток газовых турбин.
63. Особенности работы паровых турбин атомных электростанций и ме-  
ры, принимаемые в связи с этими особенностями.
64. Потери энергии на рабочих лопатках. Коэффициент потери скорости  
и коэффициент потери энергии. Их физический смысл и взаимосвязь.
65. Воздушные конденсаторы.
66. Сила, действующая на рабочую лопатку со стороны потока. Ее опре-  
деление.
67. Определение абсолютного электрического КПД турбоагрегата и па-  
ротурбинной установки через КПД отдельных элементов.
68. Опорные и упорные подшипники турбинных корпусов.
69. Выполнение последних ступеней мощных паротурбинных агрегатов.
70. Двойные корпуса паровых турбин. Возможная принципиальная схе-  
ма.
71. Последовательность построения треугольников скоростей при нали-  
чии реакции в ступени.
72. Изменение КПД турбины при переменных режимах. Причины, вы-  
зывающие это изменение.
- Список вопросов к экзамену
73. Исходные данные к проектированию паротурбинного агрегата.
74. Расчет на прочность рабочих лопаток постоянного профиля.
75. Выбор числа корпусов и типа облопатывания при проектировании  
паротурбинных агрегатов.
76. Приближенный метод расчета динамических напряжений в полотне  
диска.



77. Приближенное построение процесса при проектировании паротурбинных агрегатов при отсутствии промперегрева и при наличии промперегрева.
78. Общие положения к расчету динамических напряжений в полотне диска.
79. Расчет регенеративной схемы паротурбинного агрегата. Цель расчета, исходные данные и общий порядок.
80. Расчет на прочность рабочих лопаток переменного профиля.
81. Составление уравнений теплового баланса подогревателей при расчете регенеративной схемы.
82. Расчет на прочность бандажной ленты и связанной проволоки.
83. Особенности расчета регенеративной схемы паротурбинных агрегатов с теплофикационным отбором.
84. Расчет температурных напряжений в полотне диска.
85. Предварительный расчет паротурбинного агрегата. Цель и порядок расчета.
86. Вибрация рабочих лопаток. Причины вибрации и виды колебаний. Условия резонанса.
87. Детальный тепловой расчет одновенечной турбинной ступени. Цель и порядок расчета.
88. Расчет на прочность хвостов рабочих лопаток. Рассмотреть разные варианты хвостов.
89. Профилирование (расчет закрутки) “длинных” рабочих лопаток.
90. Сводный график напряжений и оценка прочности полотна диска. Расчет концентрации напряжений.
91. Турбинные ступени с диффузором. Цель постановки диффузора и порядок расчета.
92. Расчет на прочность обода диска.
93. Цель и порядок расчета регенеративной схемы паротурбинного агрегата.
94. Расчет рабочих лопаток на вибрацию.
95. Общие положения тепловых расчетов на переменных режимах при сопловом регулировании.
96. Расчет на прочность турбинных валов.
97. Общие положения тепловых расчетов на переменных режимах при обводном регулировании.
98. Расчет на прочность корпусов и фланцевых соединений.
99. Общие положения тепловых расчетов на переменных режимах при дроссельном регулировании.

100. Расчет ротора на критическое число оборотов.
101. Тепловые расчеты на переменных режимах турбин с противодавлением.
102. Критическое число оборотов и его определение.
103. Тепловые расчеты на переменных режимах турбин с регулируемым отбором. Диаграмма режимов.
104. Приближенные методы расчета динамических напряжений в полоте диска.
105. Диаграммы режимов турбоагрегатов с одним регулируемым отбором и двумя регулируемыми отборами.
106. Температурные напряжения в полоте диска: причины возникновения, характер, порядок расчета.
107. Расчет конденсаторов. Цель и порядок расчета. Режимные характеристики конденсатора.
108. Выбор расчетных сечений турбинного вала и порядок определения напряжений.
109. Газотурбинная установка с регенератором. Схема, цикл, основные характеристики.
110. Расчет фланцевых соединений турбинных корпусов.
111. Пути повышения эффективности газотурбинных установок. Схема и цикл комбинированной газотурбинной установки.
112. Построение вибрационной диаграммы при расчете рабочих лопаток на вибрацию.

## **Оценочные средства для промежуточной аттестации УО-1 Собеседование**

Вопросы по темам/разделам дисциплины

### **Раздел 1. Принцип действия, история создания турбин и их классификация**

Принцип работы турбины, общая классификация паровых и газовых турбин. История создания паровых турбин, развитие паротурбостроения в России и СССР, паротурбостроение за рубежом. Классификация паровых турбин, стандартные обозначения паровых турбин. История создания газотурбинных установок, классификация газотурбинных установок, стандартные обозначения газотурбинных установок.

### **Раздел II. Теоретические основы работы паровых турбин**

Решётки профилей осевых турбин, основные уравнения, описывающие процессы преобразования энергии в турбине. Преобразование энергии потока в соплах. Преобразование энергии потока на рабочих лопатках. Треугольни-

ки скоростей турбинной ступени и процесс расширения в ступени в  $h-s$  диаграмме. Окружной КПД турбинной ступени. Турбины со ступенями скорости и многоступенчатые турбин. Потери энергии в турбоагрегатах. Конструктивные особенности выполнения последней ступени мощных конденсационных турбин.

### **Раздел III. Тепловые расчеты паротурбинных агрегатов**

Тепловые расчёты конденсационных паротурбинных агрегатов. Расчёт регенеративной схемы конденсационных паротурбинных агрегатов. Расчет турбин для комбинированной выработки электроэнергии и тепла. Предварительный расчёт паровой турбины. Детальный тепловой расчёт турбинных ступеней, расчет сопловых и рабочих решёток. Расчёт поверхностных конденсаторов.

### **Раздел IV. Переменные режимы работы паровых турбин**

Работа паровых турбин при переменных режимах. Основные положения тепловых расчётов турбин на переменных режимах при различных способах регулирования мощности. Диаграммы режимов турбоагрегатов.

### **Раздел V. Переменные режимы работы газотурбинных установок**

Статическая характеристика энергетических ГТУ. Способы регулирования нагрузки ГТУ. Влияние параметров наружного воздуха на характеристики ГТУ. Стабилизация температуры воздуха, поступающего в компрессор ГТУ и впрыск воды и пара в ГТУ

## **УО-2 Собеседование**

Вопросы по темам/разделам дисциплины

### **Раздел 1. Конструктивное выполнение деталей и узлов паровых турбин**

Основные узлы и детали паровых турбин, детали и узлы проточной части. Конструкция роторов паровых турбин. Корпуса паровых турбин. Опоры турбинных корпусов. Узлы и детали органов управления и регулирования. Конденсационные установки. Основные системы паротурбинного агрегата. Элементы газотурбинных установок.

### **Раздел II. Теоретические основы работы ГТУ**

Основные сведения о газотурбинных установках. Принципиальные схемы ГТУ. Циклы газотурбинной установки. Процесс расширения газа в направляющих каналах газовой турбины. Процесс сжатия воздуха на лопатках осевого компрессора. Абсолютный электрический КПД газотурбинной установки и удельный расход рабочего тела. Газотурбинная установка с регенерацией тепла. Приближение процесса сжатия воздуха в компрессоре к изотермическому. Приближение процесса расширения газа в турбине к изо-

термическому. Газотурбинная установка со ступенчатым сжатием воздуха и ступенчатым подводом тепла при наличии регенерации.

### **Раздел III. Прочностные расчёты паротурбинных агрегатов**

Расчёт на прочность деталей турбин. Расчёт на прочность турбинных дисков. Расчёт на прочность вала ротора и корпуса

#### **УО-3 Собеседование**

1. Покажите путь пара через проточную часть турбины.
2. Покажите сопловую коробку и сопловые клапана на чертеже турбины.
3. Покажите регулировочную ступень и расскажите, из каких элементов она состоит.
4. Покажите на чертеже турбины диафрагмы и расскажите о способе их изготовления (литье, сварка и др.).
5. Как диафрагмы размещаются и удерживаются в корпусе турбины?
6. Зачем между верхней частью обода диафрагмы и корпусом турбины делается зазор и какого он порядка?
7. Как выполняется часть диафрагмы в месте прохода через нее вала ротора? Какие устройства и для чего здесь предусмотрены?
8. Как обеспечивается прочность посадки дисков на валу ротора?
9. С какой целью производится балансировка роторов и как это делается?
10. Покажите уплотнения вала ротора турбины и объясните принцип их действия.
11. Куда отводится пар от переднего уплотнения?
12. Как обеспечивается отсутствие присосов воздуха через заднее уплотнение турбины?
13. Где располагаются вестовые трубы и для чего они предназначены?
14. Для чего предусмотрены приливы на внешних поверхностях полотна первого и последнего дисков?
15. Покажите, где располагаются влагоулавливающие устройства и объясните принцип их действия.
16. С какой целью рабочие лопатки регулировочной ступени в нижней части корпуса прикрыты щитками?
17. Покажите, где располагаются опорные подшипники турбины и назовите их основные части.
18. Куда направлена осевая сила, действующая на роторе?
19. Где располагается упорный подшипник турбины, из каких основных деталей он состоит и как действует?

20. Где располагается соединительная муфта и для какой цели она предназначена?
21. Как крепятся передний и задний концы корпуса турбины и чем это вызвано?
22. С какой целью в турбинах делается поворотная диафрагма? Покажите ее и расскажите, как она действует.
23. Покажите, где располагаются маслоотбойные кольца на подшипниках. Каково их назначение?
24. Зачем в полотне дисков выполняют отверстия?
25. Покажите все наружные и внутренние уплотнения и объясните их назначение.
26. Какой способ крепления переднего конца турбины принят в разработанном Вами проекте и почему?
27. Покажите места отборов пара на турбине.
28. Как крепятся в корпусе и в диафрагмах обоймы с уплотняющими ножами и почему принят такой способ?
29. Покажите на чертеже, где возникают потери на трение дисков.
30. В каких случаях возникают потери на вентиляцию рабочих лопаток? Покажите на чертеже места, где эта потеря будет в Вашем варианте турбины?
31. К каким кромкам по проточной части турбины привязываются треугольники скоростей?
32. Покажите на чертеже, где внутри корпуса турбины возникают утечки пара.
33. Покажите на эскизе хвоста рабочей лопатки наиболее опасные сечения. Какие напряжения здесь возникают?
34. Объясните вибрационную диаграмму рабочих лопаток.
35. Какие сечения по длине вала ротора являются наиболее опасными и почему?
36. Объясните порядок определения критического числа оборотов ротора и графические построения, связанные с расчетом.
37. Как понимать определения "жесткий ротор" и "гибкий ротор"?
38. Какими причинами вызывается осевая сила, действующая на роторе?
39. Куда изгибается диафрагма при работе турбины и в каком месте прогиб будет наибольшим?
40. Какие силы действуют на рабочую часть лопатки и в каком месте возникают наибольшие напряжения?
41. Как изменяется изгибающий момент по длине ротора?
42. Как изменяется крутящий момент по длине ротора?

43. Какая из опорных шеек вала ротора работает наиболее напряженно и почему?

44. В какую сторону идет удлинение ротора при прогреве турбины и почему?

45. В какую сторону идет удлинение корпуса турбины при прогреве и почему?

### **ПР-1 Курсовой проект**

#### **Темы курсовых проектов**

Выполнить проектирование паровой турбины заданной мощности с заданными параметрами свежего пара и давлением пара в конденсаторе.

#### **Т е п л о в ы е   р а с ч е т ы**

Произвести расчет регенеративной схемы, предварительный расчет турбины и детальный тепловой расчет заданных ступеней турбины.

#### **Р а с ч е т ы   н а   п р о ч н о с т ь**

Сконструировать и рассчитать на прочность следующие детали:

1. Рабочую лопатку заданной ступени
2. Бандажную ленту и связную проволоку
3. Обод диска той же ступени
4. Корпус турбины, включая фланец, в месте расположения рассчитанных ступеней

#### **Г р а ф и ч е с к а я   ч а с т ь**

Разработать чертеж принципиальной тепловой схемы турбоагрегата (формат А4), эскизы треугольников скоростей (формат А4), эскизы к расчету на прочность (формат А4) и чертеж спроектированного участка проточной части (формат А1)

#### **Задание по вариантам**

№ варианта	№э, МВт	Р <sub>0</sub> , МПа	t <sub>0</sub> , °С	Р <sub>к</sub> , кПа	Прототип	№ отсека и ступеней для детального теплового рас-	№ ступени для расчета
1	55	9,5	555	3,0	К-50-90	Отс.1 Ст.2,3,4,5	2
2	55	10,0	540	3,0	К-50-90	Отс.1 и 2 Ст.6,7,8,9	6
3	60	9,5	540	4,0	К-50-90	Отс.3 и 4 Ст. 10, 11, 12, 13	10
4	60	11	555	3,0	К-50-90	Отс.4 и 5 Ст. 14,15,16,17	14
5	65	10,0	535	3,0	К-50-90	Отс6,7,8 Ст. 18, 19,20,21	18
6	110	10,0	540	3,5	К-100-90	Отс.1 Ст.2,3,4,5	2
7	110	9,5	555	4,0	К- 100-90	Отс.1 и 2 Ст.6,7,8,9	6
8	115	11,0	555	3,5	К-100-90	Отс.2 и 3 Ст. 10,1 1,12,13	10

№ варианта	№э, МВт	Р <sub>о</sub> , МПа	t <sub>о</sub> , °С	Р <sub>к</sub> , кПа	Прототип	№ отсека и ступеней для детального теплового рас-	№ ступени для расчета
9	115	10,0	535	3,5	К-100-90	Отс.4 Ст. 14, 15, 16, 17	14
10	120	10,0	540	4,0	К-100-90	Отс.5и6 Ст. 13,20,21,22	19
11	120	9,5	555	3,5	К-100-90	Отс.1 Ст 2,3,4,5	4
12	125	11,0	540	3,0	К-100-90	Отс.1 и 2 Ст.5,6,7,8	5
13	125	10,0	555	4,0	К-100-90	Отс.4 Ст. 14, 15, 16, 17	14
14	130	11,0	535	3,0	К-100-90	Отс.5и 6 Ст. 19,20,21,22	19
15	130	12,0	565	4,0	К-100-90	Отс.6и7 Ст.21,22,23,24	21
16	220	14,0	560	3,5	К-200-130	Отс.1 Ст.2,3,4,5	2
17	220	15,0	565	4,0	К-200-130	Отс.1 Ст.6,7,8,9	6
18	235	14,0	565	3,5	К-200-130	Отс.2 и 3 Ст.10,11,12,13	10
19	235	15,0	560	3,5	К-200-130	Отс.3 и 4 Ст. 14, 15, 16, 17	14
20	240	15,0	565	4,0	К-200-130	Отс.4 и 5 Ст.18,19,20,21	18
21	240	16,0	565	3,5	К-200-130	Отс.1 Ст.3,4,5,6	3
22	250	13,5	560	3,5	К-200-130	Отс.1 и 2 Ст.7,8,9,10	7
23	165	14,0	560	3,5	К-160-130	Отс.1 Ст.2,3,4,5	2
24	165	15,0	565	4,0	К-160-130	Отс.2 Ст.8,9,10,11	8
25	170	14,0	565	4,0	К-160-130	Отс.3 и 4 Ст. 12, 13, 14, 15	12
26	170	15,0	560	3,5	К-160-130	Отс.5,6,7 Ст. 16, 17, 18, 19	16
27	180	14,0	560	3,5	К-160-130	Отс.1 Ст.4,5,6,7	4
28	180	15,0	565	3,0	К-160-130	Отс.2 Ст.8,9,10,11	9

**ПР-2 Тест №1** (Выполняется с использованием системы программ для создания и проведения компьютерного тестирования знаний MyTestX)

**Пример тестового задания**

**Задание № 1** Какое преобразование энергии происходит на соплах?

- 1) потенциальная энергия рабочего тела превращается в кинетическую
- 2) потенциальная энергия рабочего тела преобразуется в механическую энергию вращения
- 3) кинетическая энергия преобразуется в механическую энергию вращения

**Задание № 2** По принципу действия турбины бывают?

- 1) Активные и реактивные
- 2) Пассивные и реактивные
- 3) Активные и пассивные

**Задание № 3** Для чего не могут использоваться промежуточные отборы в паровой турбине?

- 1) Для нагрева сетевой воды
- 2) Для нагрева сырой воды
- 3) Для нагрева питательной воды

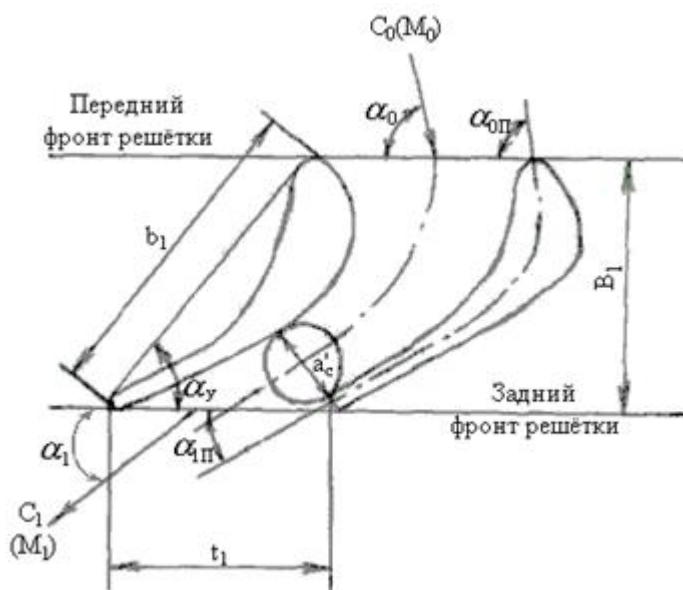
**Задание №4** Что означает цифра 240 в обозначении турбины: К-300-240

- 1) Электрическая мощность в МВт
- 2) Давление пара на входе в турбину в атм
- 3) Электрическая мощность в кВт

**Задание №5** Что из перечисленного не является достоинством ГТУ (в сравнении с паровой турбиной)?

- 1) Быстрый пуск установки в работу (маневренность выше, чем у паровых).
- 2) Практически не ограниченная единичная мощность установки (единичная мощность больше чем у паровых турбин).
- 3) Установка требует минимальный расход воды (намного меньше, чем у паровой турбины).

**Задание №6** На рисунке изображена сопловая решетка.



Какое обозначение имеет угол входа потока на входе в сопловую решетку?

- 1)  $\alpha_{1П}$
- 2)  $\alpha_{0П}$



3)  $\alpha_0$

**Задание №7** На диаграмме h-S изображен процесс происходящий в соплах. Уравнение описывающее процесс преобразования энергии в процессе изображенном на диаграмме имеет вид:

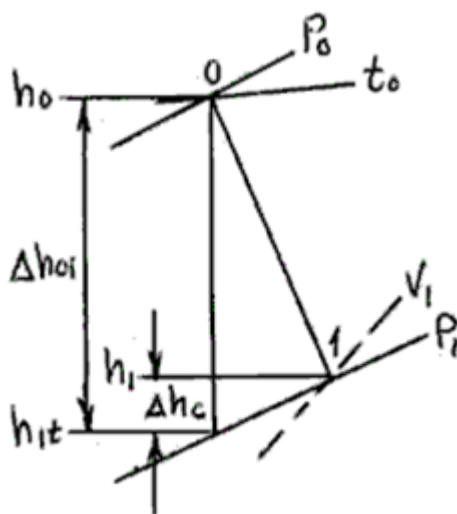
$$h_0 - h_{1t} = \frac{c_{1t}^2}{2000} - \frac{c_0^2}{2000};$$

Величина  $c_{1t}$  в уравнении обозначает?

- 1) Теоретическая скорость на выходе из сопла
- 2) Действительная скорость на выходе из сопла
- 3) Теоретическая скорость на входе в сопло

**Задание №8** На диаграмме h-S изображен процесс происходящий в соплах. Уравнение описывающее процесс преобразования энергии в процессе изображенном на диаграмме имеет вид:

$$h_0 - h_1 = \frac{c_1^2 - c_0^2}{2000}$$



Величина  $c_0$  в уравнении обозначает?

- 1) Действительная скорость на выходе из сопла
- 2) Теоретическая скорость на входе в сопло
- 3) Теоретическая скорость на выходе из сопла

**Задание №9** Как определить окружную составляющую силы ( $P_u$ ) действующую на рабочее колесо?

1)  $P_u = G(c_{1u} + c_{2u})$

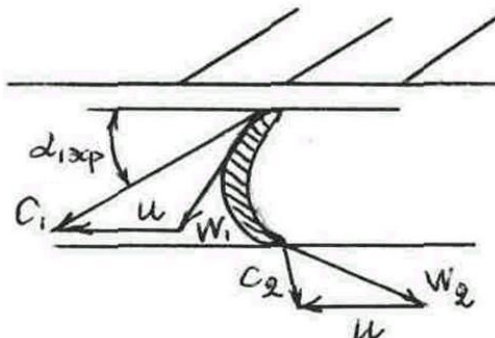
2)  $P_u = G(c_{1u} - c_{2u})$

$$3) P_u = u(c_{1u} - c_{2u})$$

**Задание №10** Какие потери не относятся к профильным потерям на рабочих лопатках?

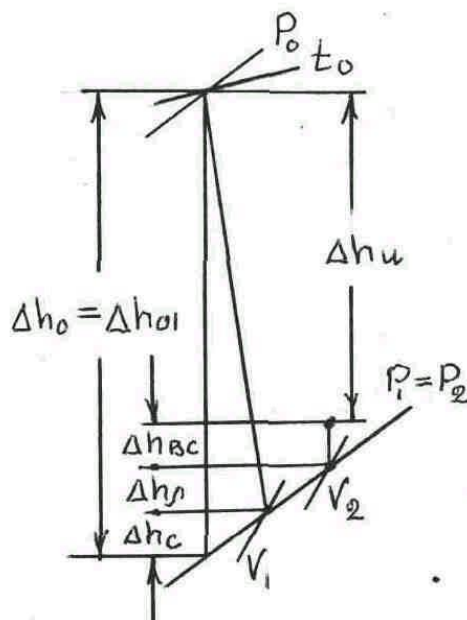
- 1) потери вследствие вторичных токов
- 2) кромочные потери
- 3) потери в скачках уплотнений

**Задание №11** Какой буквой на рисунке обозначена окружная скорость?



- 1) C1
- 2) U
- 3) W1

**Задание №12** На диаграмме h-S изображены процессы происходящие в ступени.



Для какого типа ступени данный процесс?

- 1) для активной ступени ( $\rho=0$ )
- 2) для реактивной ступени ( $\rho=1$ )
- 3) для ступени с реакцией ( $0 < \rho < 1$ )

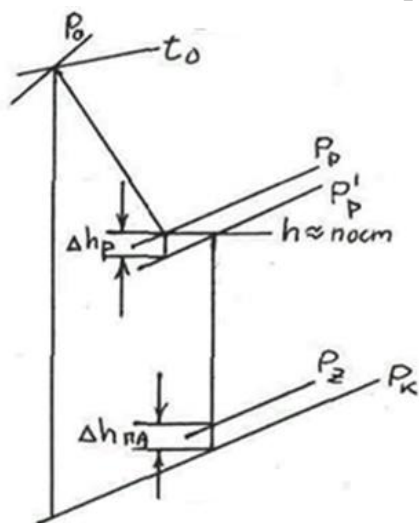
**Задание №13** Чему равен окружной КПД активной турбинной ступени при  $x_1=1$ ?

- 1) 100 %
- 2) 0 %
- 3) максимальной величине

**Задание №14** Многоступенчатые турбины бывают:

- 1) со ступенями объема
- 2) со ступенями давления
- 3) со ступенями реакции

**Задание №15** Какая из потерь отображена на рисунке?



- 1) От влажности пара
- 2) В окружающую среду
- 3) В ресиверах и на выпускную скорость в конденсатор

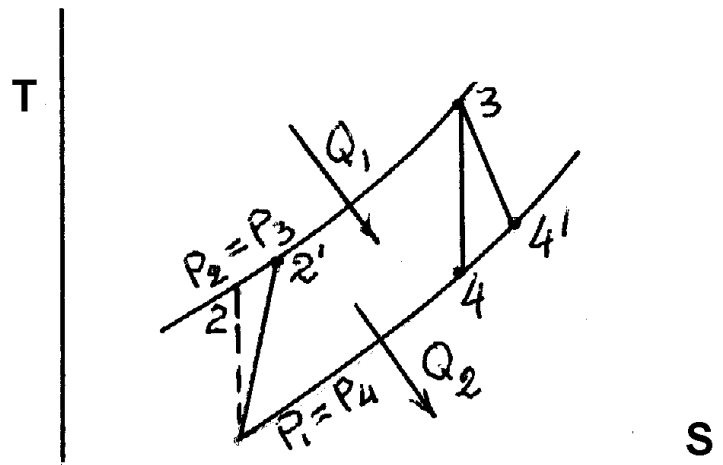
**Задание №16** Выберите, какой из КПД меньше?

- 1) Относительный электрический КПД
- 2) Абсолютный внутренний КПД
- 3) Абсолютный эффективный КПД

**Задание №17** Какой из методов не применяется для увеличения пропуска пара через последнюю ступень?

- 1) Разветвленный выхлоп в конденсатор
- 2) Применение тяжелых металлов
- 3) Применение легких металлов

**Задание №18** По какой формуле можно определить внутренний КПД компрессора?



- 1)  $C_p (T_{2'} - T_1) / C_p (T_2 - T_1)$
- 2)  $C_p (T_2 - T_1) / C_p (T_{2'} - T_1)$
- 3)  $C_p (T_3 - T_4) / C_p (T_3 - T_{4'})$
- 4)  $C_p (T_3 - T_{4'}) / C_p (T_3 - T_4)$

**Задание №19** Определите, являются ли приведенные выражения истинными

- 1) **Понижение** начального давления однозначно **увеличивает** располагаемый теплоперепад турбины
- 2) **Повышение** конечного давления однозначно **увеличивает** располагаемый теплоперепад турбины
- 3) **Понижение** конечного давления однозначно **увеличивает** располагаемый теплоперепад турбины
- 4) **Повышение** начального давления однозначно **увеличивает** располагаемый теплоперепад турбины
- 5) **Понижение** начальной температуры однозначно **увеличивает** располагаемый теплоперепад турбины
- 6) **Повышение** начальной температуры однозначно **увеличивает** располагаемый теплоперепад турбины

**Задание №20** Определите, являются ли приведённые положения верными при расчете конденсационной турбины с регулируемым отбором пара

- 1) Давление в камере регулирующей ступени рассчитывается по зависимости

$$P'_P = P_P \cdot \frac{D_O}{D_O^K}$$

- 2) Давление в отборах ЧВД рассчитывается по зависимости

$$P'_{ичвд} = P_{ичвд} \cdot \frac{D_o}{D_o^K}$$

3) Давление в отборах ЧВД рассчитывается по зависимости

$$P'_{ичнд} = P_{ичнд} \cdot \frac{D_o}{D_o^K}$$

4) Приблизленно оценивается расход пара на турбину при данном режиме

$$D_o = A \cdot D_o^K$$

5) Выбирается место возврата конденсата регулирующего отбора: в деаэратор или в рассечку между ПВД

6) Предварительно делается расчет на номинальном режиме с определением

$$D_o^K$$

**ПР-3 Тест №2** (Выполняется с использованием системы программ для создания и проведения компьютерного тестирования знаний MyTestX)

#### **Пример тестового задания**

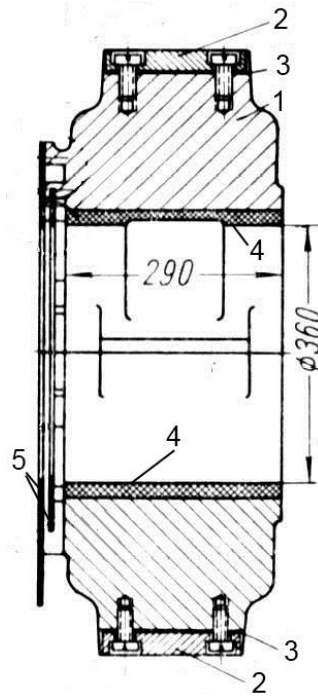
**Задание №1** Как называется процесс износа входной части лопаток от воздействия влаги?

- 1) диффузия
- 2) эрозия
- 3) контузия

**Задание №2** Что относится к недостаткам цельнокованного дискового ротора?

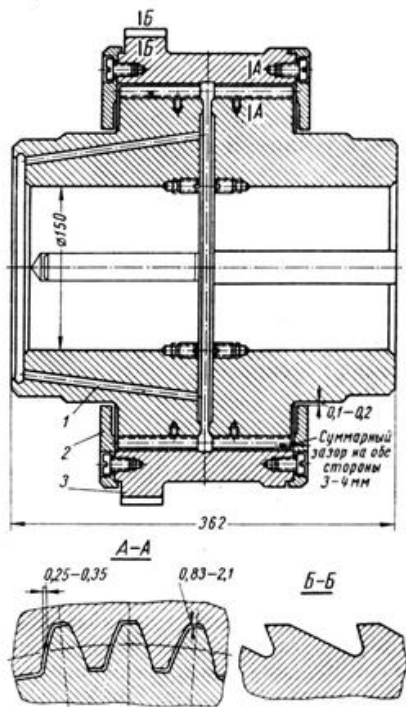
- 1) Невозможность применять в области высоких температур
- 2) Большой расход дорогостоящей легированной стали
- 3) Сложность при сборке ротора

**Задание №3** Как называется элемент, обозначенный цифрой 1 на рисунке?



- 1) Вкладыш подшипника
- 2) Опорная подушка подшипника
- 3) Металлическая пластина для центровки

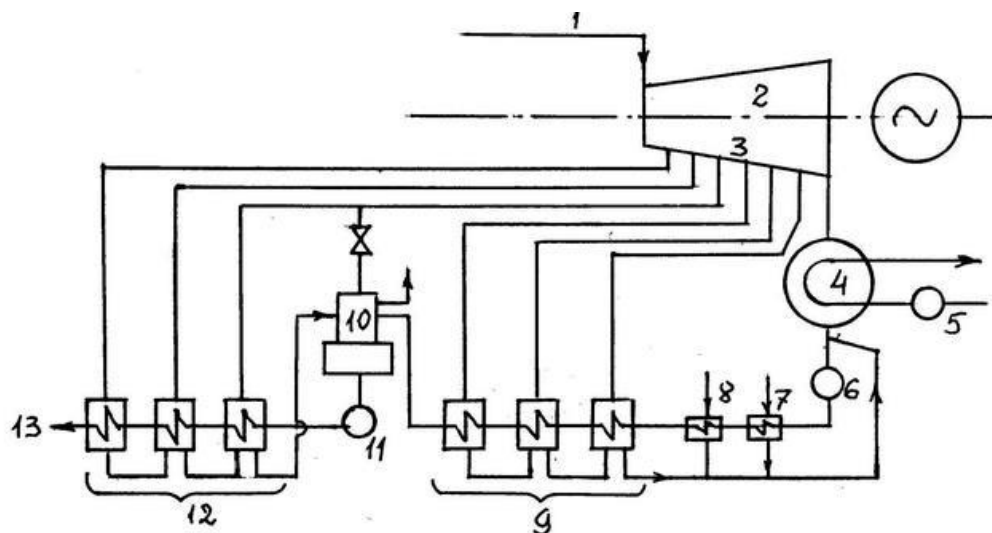
**Задание №4** Какой тип муфты изображен на рисунке?



- 1) Полужесткая
- 2) Гибкая

3) Шлицевая

**Задание №5** Как называется элемент, обозначенный цифрой 9 на рисунке?



- 1) Подогреватели уплотнений
- 2) Подогреватели низкого давления
- 3) Подогреватели высокого давления

**Задание №6** Выполните сопоставление с типом ступеней следующих утверждений

- 1) Одновенечные ступени с реакцией
  - 2) Активные одновенечные ступени
- Значительно большее число ступеней
  - Большие потери от влажности
  - Отсутствие утечек в радиальных зазорах
  - Требуется полный впуск пара
  - Возможность применения парциального впуска
  - Наличие значительного осевого усилия на роторе

**Задание №7** Выберите **достоинства** которые соответствуют одновенечным **активным** ступеням

- 1) отсутствие утечек в радиальных зазорах
- 2) меньшие потери от влажности и меньшая подверженность эрозии
- 3) возможность изготовления рабочих и направляющих лопаток одинакового профиля
- 4) меньшая чувствительность к радиальным деформациям ротора, возможность более быстрого прогрева
- 5) возможность применения парциального впуска

**Задание №8** Сопоставьте название праметров и формулы для их опре-

деления

- 1)  $t_H - (0,5 - 1,0)$
- 2)  $t_{H \text{ отб.}} - 5$
- 3)  $1,1 P_K$
- 4)  $t_K + \Delta t_{ПЭ} + \Delta t_{ОУ} + \Delta t_{ГО}$
- 5)  $t_{H \text{ отб}}$
- 6)  $t_{ПВ \text{ входа.}} + (5-8)$

\_\_\_ Температура конденсата на выходе из ПНД

\_\_\_ Температура на входе в ПНД1

\_\_\_ Температура на выходе из любого подогревателя (ПНД или ПВД)

\_\_\_ Температура конденсата на выходе из ПВД

\_\_\_ Температура конденсата на выходе из конденсатора

\_\_\_ Давление за последней ступенью

**Задание №9** Сопоставьте название параметров и формулы для их опре-

деления

- 1)  $\frac{\Delta h_{01}}{1 - \rho}$
- 2)  $\varphi \cdot 44,7 \cdot \sqrt{\Delta h_{01}}$
- 3)  $\frac{\pi D_{CP} n}{60}$
- 4)  $44,7 \cdot \sqrt{\Delta h_{01}}$
- 5)  $\frac{\varepsilon \cdot \pi \cdot D_{CP}}{t_1}$

\_\_\_ Число сопловых каналов

\_\_\_ Окружная скорость

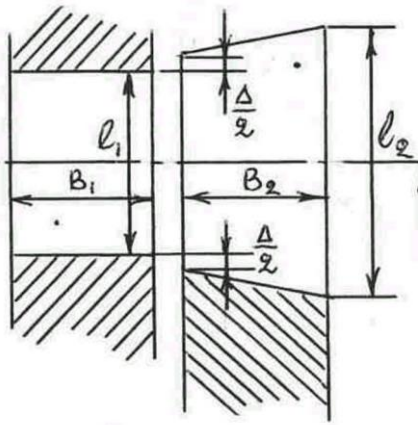
\_\_\_ Действительная скорость на выходе из сопла

\_\_\_ Теоретическая скорость на выходе из сопел

\_\_\_ Располагаемый теплоперепад регулирующей ступени

**Задание №10** Укажите, к какой части турбинной ступени привязана скорость  $W_2$  треугольников скоростей (укажите конкретную точку)





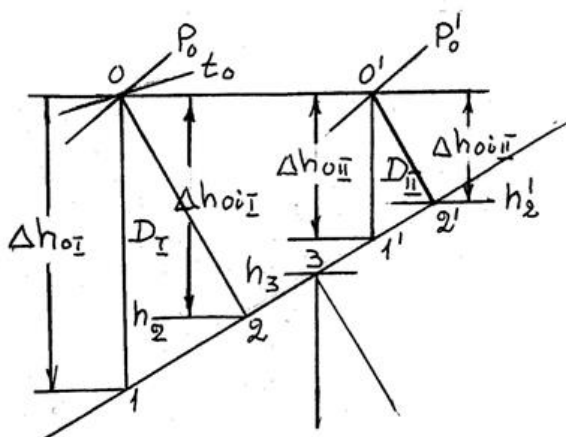
**Задание №11** При увеличении начального давления пара (определите, являются ли истинными следующие утверждения)

- Влажность на последних ступенях уменьшается
- Мощность турбины уменьшается
- Влажность на последних ступенях увеличивается
- Мощность турбины увеличивается
- Располагаемый теплоперепад увеличивается
- Располагаемый теплоперепад уменьшается

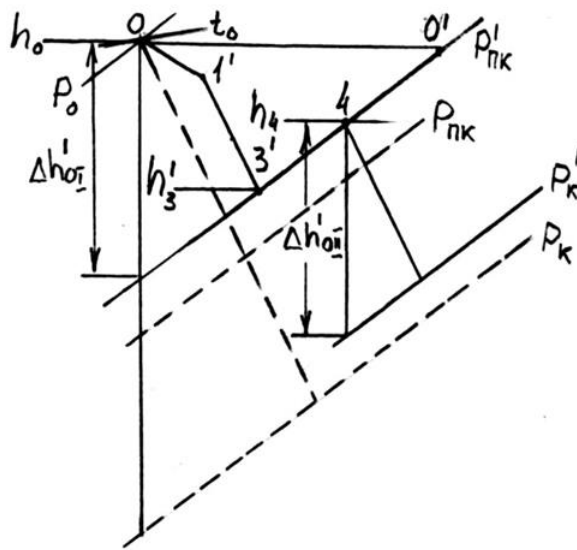
**Задание №12** При увеличении начальной температуры пара (определите, являются ли истинными следующие утверждения)

- Располагаемый теплоперепад увеличивается
- Влажность на последних ступенях увеличивается
- Влажность на последних ступенях уменьшается
- Мощность турбины увеличивается
- Располагаемый теплоперепад уменьшается
- Мощность турбины уменьшается

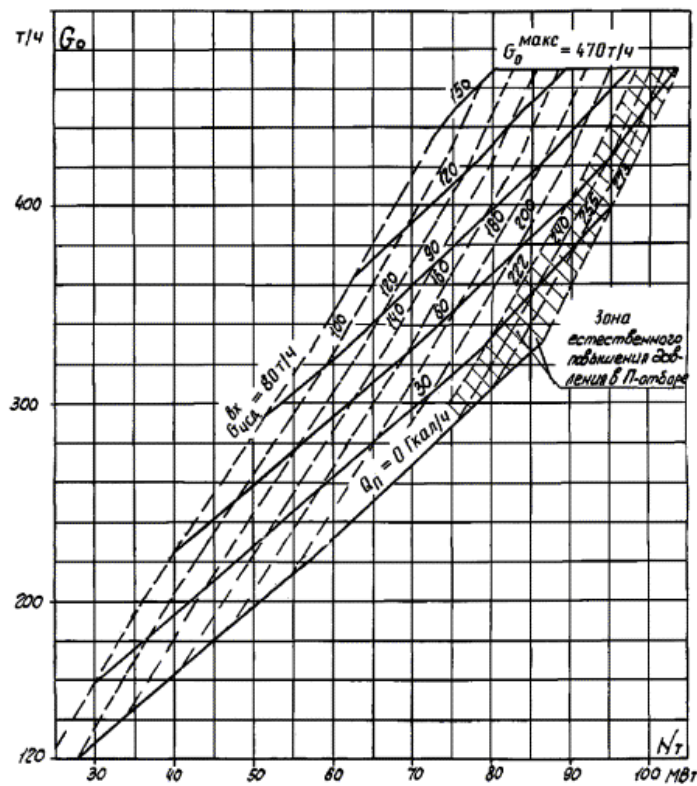
**Задание №13** Покажите на диаграмме точку, соответствующую состоянию пара после регулирующей ступени при сопловой регулировании (точку от которой начинается тепловой процесс для всех ступеней находящихся за регулирующей)



**Задание №14** Покажите на диаграмме точку, соответствующую состоянию пара после промежуточной камеры (точку от которой начинается тепловой процесс для всех ступеней второй группы при обводном регулировании)



**Задание №15** Определите расход пара на турбину работающую по приведенной диаграмме режимов. Электрическая мощность = 65 МВт, тепловая нагрузка отбора = 30 Гкал/ч



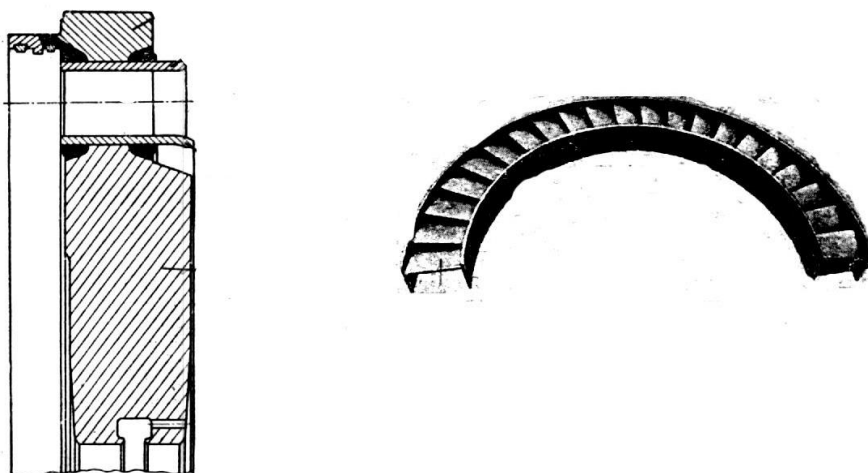
Запишите число:

---

**ПР-4 Тест №3** (Выполняется с использованием системы программ для создания и проведения компьютерного тестирования знаний MyTestX)

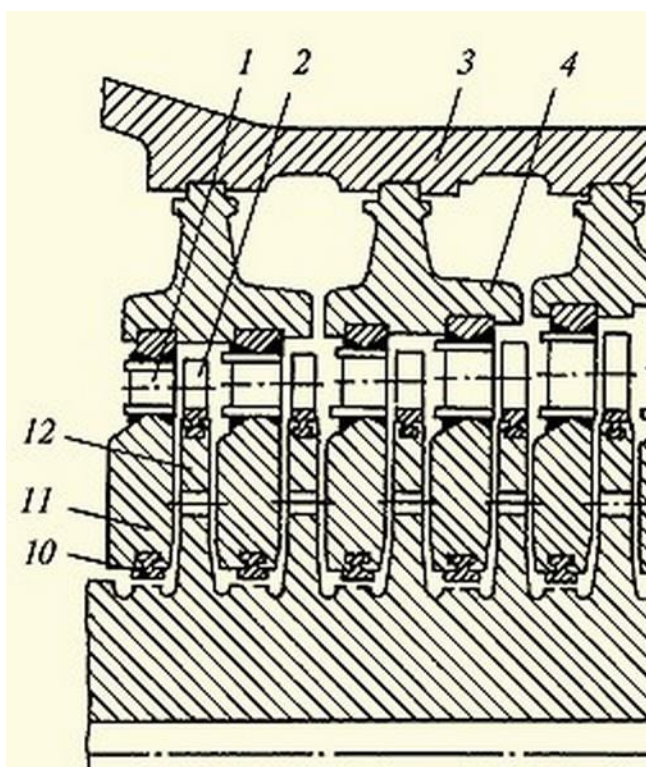
**Пример тестового задания**

**Задание №1** К какому типу по способу изготовления относится приведенный на рисунке сопловой сегмент?



- 1) Сварной
- 2) Фрезерованный
- 3) Литой

**Задание №2** Укажите, каким номером на рисунке обозначена рабочая лопатка?



- 1) 2
- 2) 1
- 3) 11

**Задание №3** Для уменьшения возможной вибрации рабочих лопаток они скрепляются между собой в пакеты с помощью?

- 1) связной проволоки
- 2) замковой лопатки
- 3) диска

**Задание №4** Как называется процесс износа входной части лопаток от воздействия влаги?

- 1) контузия
- 2) эрозия
- 3) диффузия

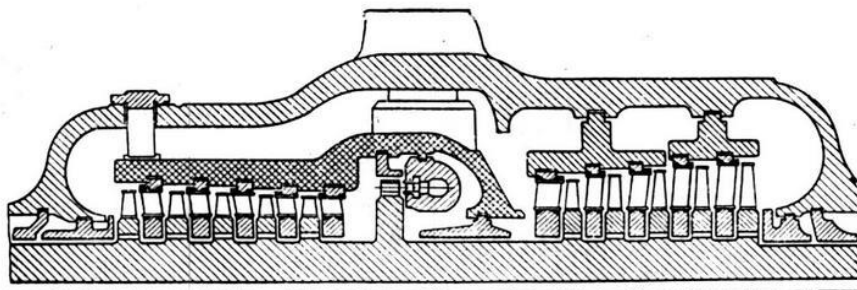
**Задание №5** Что относится к недостаткам цельнокованного дискового ротора?

- 1) Сложность при сборке ротора
- 2) Невозможность применять в области высоких температур
- 3) Большой расход дорогостоящей легированной стали

**Задание №6** Что относится к достоинствам составного дискового ротора?

- 1) Большая прочность соединения диска с валом
- 2) Возможность изготовления при значительных диаметрах
- 3) Возможность применять в области высоких температур

**Задание №7** Что относится к достоинствам двухкорпусного исполнения ЦВД (на рисунке)?



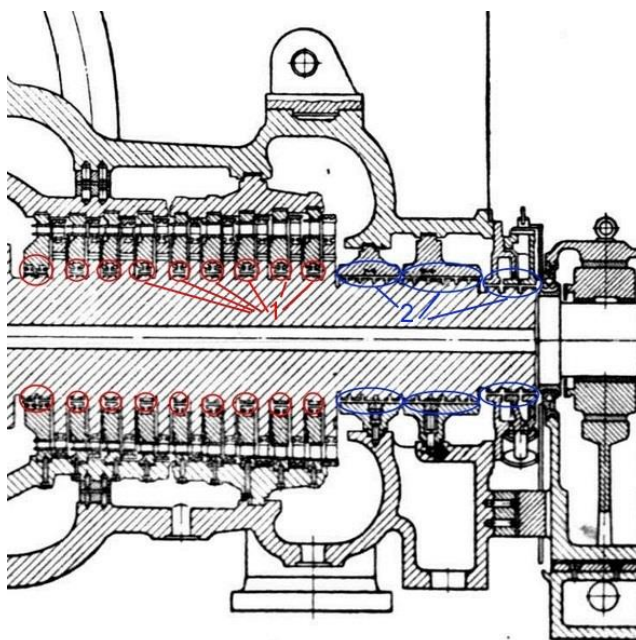
- 1) Увеличивается нагрузка на фланец ЦВД
- 2) Снижается нагрузка на фланец ЦВД
- 3) Повышается эффективность работы ЦВД

**Задание №8** Как называются уплотнения препятствующие утечке пара в обход диафрагм, минуя сопловой аппарат?

- 1) Внутренние
- 2) Наружные

3) Средние

**Задание №9** Как называются уплотнения обозначенные цифрой 1 на рисунке?



1) Внутренние

2) Наружные

3) Средние

**Задание №10** Назначение упорного подшипника?

1) Снижать вибрацию возникающую на роторе

2) Уравновешивать осевое усилие действующее на ротор

3) Воспринимать вес ротора

**Задание №11** Почему не изнашивается часть подшипника, в том месте где проходит вал ротора?

1) Потому, что эта часть подшипника выполнена очень прочной

2) Она очень сильно изнашивается и необходима частая замена

3) В эту часть подается масло и ротор не касаясь подшипника плавает в маслянной пленке

**Задание №12** Что относится к недостаткам гибкой опоры?

1) Нельзя применять при большом весе корпуса

2) Возможно закичивание при расширении корпуса

3) Требуется постоянная подача масла

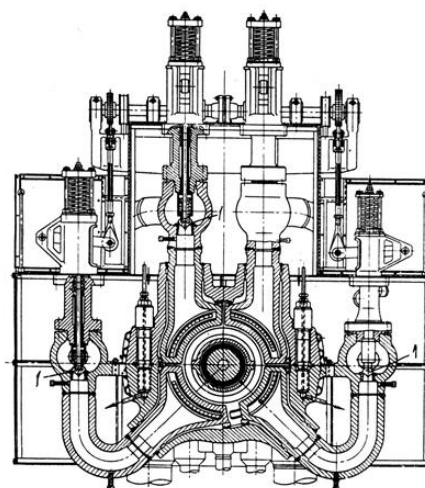
**Задание №13** Для чего предназначены атмосферные клапана?

1) Автоматически открываются при срыве вакуума

2) Перекрывать доступ пара в турбину при необходимости

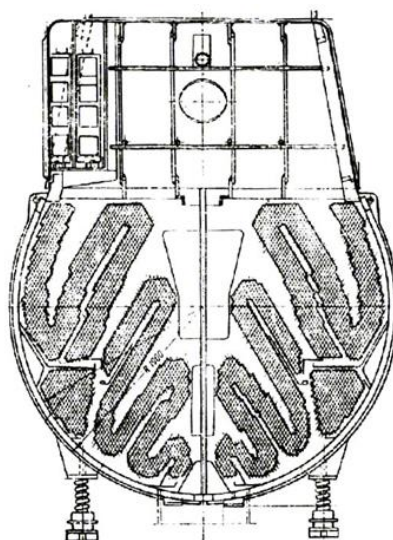
3) Регулировать расход пара на турбину при режимах с переменной мощностью

**Задание №14** Какие клапан изображены на рисунке?



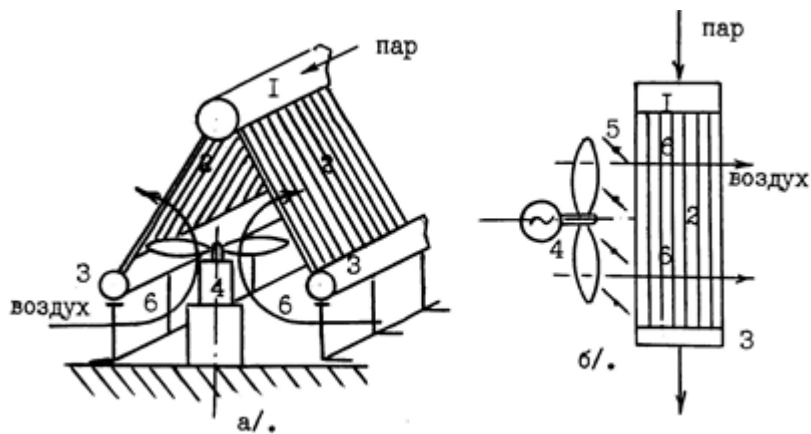
- 1) Атмосферные
- 2) Регулирующие
- 3) Стопорные

**Задание №15** Для чего трубки в конденсаторе расположены неравномерно по всему объему?



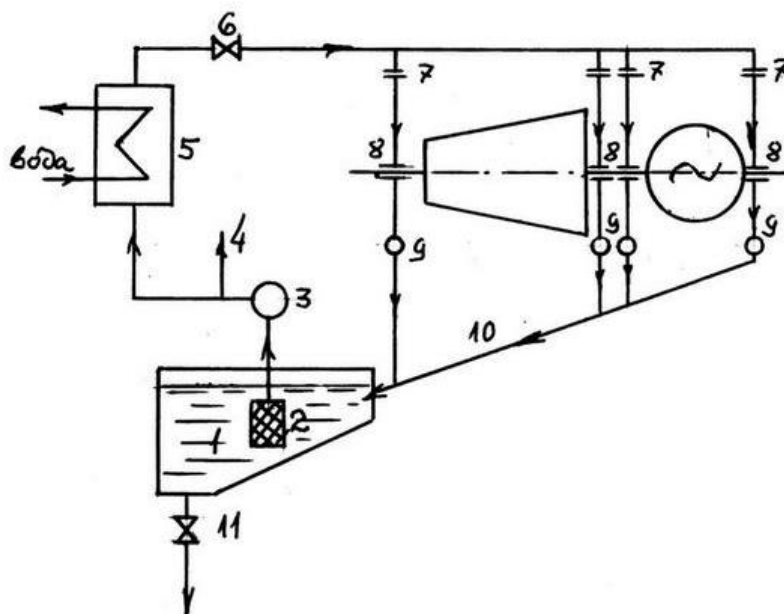
- 1) Это позволяет разместить большее количество трубок
- 2) Это позволяет уменьшить переохлаждение конденсата до температуры насыщения
- 3) Это позволяет увеличить переохлаждение конденсата до температуры насыщения

**Задание №16** На рисунке приведена принципиальная схема воздушного конденсатора. Какой элемент обозначен цифрой 1?



- 1) коллектор отработавшего пара
- 2) вентилятор
- 3) коллектор для сбора конденсата

**Задание №17** Принципиальная схема какой системы приведена на рисунке?

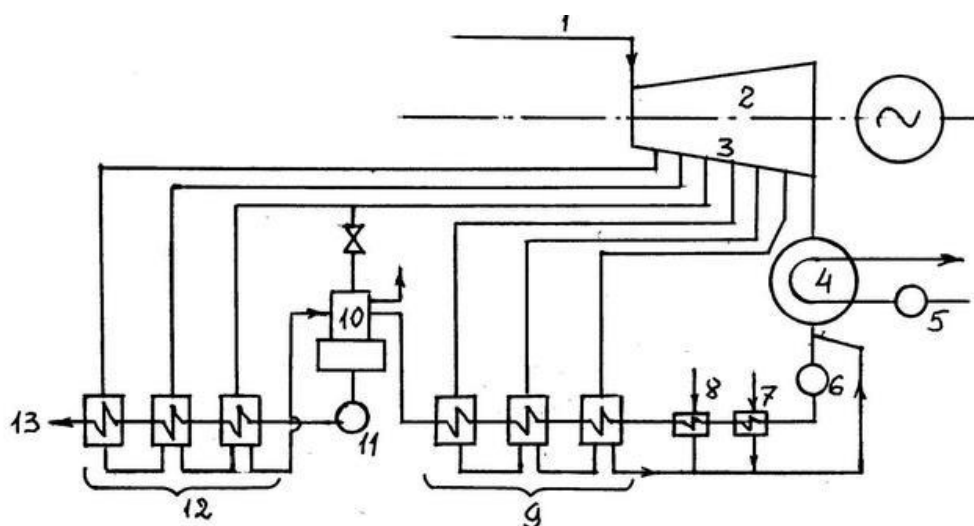


- 1) Система укупорки и отсоса пара от уплотнений
- 2) Масляная система
- 3) Регенеративная система

**Задание №18** Как называется элемент, обозначенный цифрой 9 на рисунке?







- 1) Подогреватели высокого давления
- 2) Подогреватели уплотнений
- 3) Подогреватели низкого давления

### Критерии оценки (устный ответ) на собеседовании

✓ 100-85 баллов (отлично) - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 85-76 - баллов (хорошо)- ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл (удовлетворительно) – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается не-

сколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

✓ 60-50 баллов (неудовлетворительно) – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

### **Критерии оценки при ответе (письменный ответ) на экзаменационные вопросы**

✓ 100-86 баллов (отлично) - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

✓ 85-76 - баллов (хорошо) - знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

✓ 75-61 - балл (удовлетворительно) – фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

✓ 60-50 баллов (неудовлетворительно) – незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете/ экзамене  
по дисциплине «Турбины теплоэлектростанций»:**

Баллы (рейтин- говой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стан- дартная)	<p align="center"><b>Требования к сформированным компетенциям</b> <i>Дописать оценку в соответствии с компетенциями. Привязать к дисциплине</i></p>
100-86	«зачте- но»/ «от- лично»	<p>Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. Уверенно знает основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Свободно умеет применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Отлично владеет приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, принципами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методиками расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций</p>
85-76	«зачте- но»/ «хо- рошо»	<p>Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Хорошо знает основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, основные принципы управления параметрами паровых и га-</p>

Баллы (рейтин- говой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стан- дартная)	<p align="center"><b>Требования к сформированным компетенциям</b></p> <p align="center"><i>Дописать оценку в соответствии с компетенциями. Привязать к дисциплине</i></p>
		<p>зовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Умеет применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Владеет приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, принципами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методиками расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций</p>
75-61	«зачтено»/ «удовлетворительно»	<p>Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ. Поверхностно знает основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Немного умеет применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Частично владеет приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, принципами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методиками расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций</p>

Баллы (рейтин- говой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стан- дартная)	Требования к сформированным компетенциям <i>Дописать оценку в соответствии с компетенциями. Привязать к дисциплине</i>
60-50	«не за- чтено»/ «неудо- влетво- ритель- но»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Не знает основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методики расчета технико-экономические показателей работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Не умеет применять основные принципы грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, использовать основные принципы управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, применять методики расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций. Не владеет приемами организации грамотной эксплуатации, ремонта и обслуживания паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, принципами управления параметрами паровых и газовых турбин теплоэлектростанций, методиками расчета технико-экономические показатели работы паровых и газовых турбин теплоэлектростанций.