

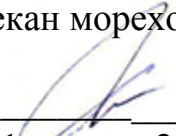
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ:

Декан мореходного факультета

  
С. Ю. Труднев  
«31» января 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Судовые турбомашинны»**

специальность:

26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок»  
(уровень: специалитет)

специализация:

«Эксплуатация судовых энергетических установок»  
квалификация: инженер-механик

Петропавловск-Камчатский  
2024

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО специальности 26.05.06  
«Эксплуатация судовых энергетических установок»

Составитель рабочей программы

доцент, доцент, — С.А. Жуков



Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

15 декабря 2023 г., протокол № 4.

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов» канд. техн. наук, доцент

31 января 2024 г.



О. А. Белов

## 1. Цели и задачи учебной дисциплины

Дисциплина «Судовые турбомашин (СТМ)» является одной из основных, (Б1.В.13) формирующих профессиональную подготовку инженера по специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

**ЦЕЛЬЮ** изучения дисциплины «СТМ» является подготовка инженеров по специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

Дисциплина «СТМ» изучает рабочие процессы, а также конструкцию, вопросы прочности и надежности лопаточных машин двух типов: турбин, являющихся тепловыми двигателями, и компрессоров, предназначенных для сжатия рабочего тела. В обоих типах машин реализуется динамический двухступенчатый принцип преобразования потенциальной и внутренней энергии рабочего тела в техническую работу (в турбинах) и обратный процесс преобразования подведенной к ротору технической работы в энергию рабочего тела (в компрессорах).

*Значимость* турбомашин в современной судовой энергетике обусловлена следующим фактором. В связи с форсированием судовых двигателей внутреннего сгорания, особенно главных, возросла роль систем газотурбинного наддува, основным элементом которых являются лопаточные турбокомпрессоры, состоящие из осевой или радиальной одноступенчатой турбины и радиального одноступенчатого лопаточного компрессора. Паровые турбины, включенные в состав систем утилизации тепла главных двигателей, используются для привода генераторов судовой электростанции. Они же применяются в качестве приводов насосов, служащих для выгрузки нефтепродуктов на танкерах.

**ЗАДАЧА** изучения дисциплины — дать будущим судовым инженерам-механикам необходимые для практической работы знания в области теории рабочих процессов турбомашин, их переменных режимов во взаимосвязи с вопросами прочности и надежности их отдельных деталей, узлов и в целом агрегатов и тем самым обеспечить их способность грамотно и качественно обслуживать турбоагрегаты и их вспомогательные механизмы и системы, обеспечивая их высокую экономичность, надежность и долговечность, сформировать знания, умения и навыки в следующих направлениях:

- процессах истечения рабочего тела и преобразования энергии, протекающие в сопловых и лопаточных аппаратах радиальных и осевых турбинах и компрессорах;
- устройстве основных видов турбомашин аппаратов, принцип действия, назначение и использование их в составе главной и вспомогательной энергетических установках, вспомогательное оборудование;
- методах оценки термодинамической эффективности оборудования;
- методиках расчета и выбора стандартного основного и вспомогательного оборудования турбомашин.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 26.05.06 Эксплуатация судовых энергетических установок (квалификация (степень) «специалист»), после изучения дисциплины «СТМ» учащийся должен

**ИМЕТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ:**

- о конструкции судовых турбомашин (СТМ), принципах обеспечения их технической и экологической безопасности;
- о методах контроля технического уровня и качества СТМ после постройки и ремонта, технического надзора за безопасностью эксплуатации.

Учащийся должен

**ЗНАТЬ:**

- правила технической эксплуатации СТМ на рыбопромысловых судах, Правила классификации и постройки морских судов Российского Морского Регистра Судоходства в части, касающейся СТМ, порядок их освидетельствования Регистром;
- виды, физические причины отказов СТМ, методы и средства обеспечения их надежности и работоспособности;

- методы, обеспечивающие готовность, надежный пуск и контроль режимов работы СТМ и обслуживающих систем;
- способы контроля и нормирования эксплуатационных показателей СТМ, определения их значений в процессе эксплуатации и по результатам испытаний, расчета приведенных затрат и полезного эффекта от их эксплуатации.

После изучения курса «СТМ» и прохождения плавательных практик, учащийся должен **УМЕТЬ**:

- выбирать оптимальные режимы работы газотурбонагнетателей и турбогенераторов, их вспомогательных механизмов и систем;
- учитывать влияние основных эксплуатационных факторов на технико-экономические характеристики СТМ;
- вести документацию СТМ;

После изучения курса «СТМ» и прохождения плавательных практик, учащийся должен **ИМЕТЬ НАВЫКИ**:

- работы с технической документацией и литературой по СТМ, в том числе и на английском языке;
- технической эксплуатации и ремонта СТМ в объеме, достаточном для получения рабочего диплома вахтенного механика.
- сбора, обработки и анализа эксплуатационной информации о СТМ на основании данных, зафиксированных в судовой документации первичного учета;
- использования нормативной, научно-технической и справочной литературы, технической и судовой документации.

В результате изучения дисциплины «СТМ» учащиеся приобретают теоретические знания и практические навыки, необходимые для решения задач эксплуатации турбомашин и турбоагрегатов на уровне ФГОС ВО и требований ПДМНВ 78/95, достаточные для получения диплома вахтенного механика. Это позволит инженеру по специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок» уметь работать в системе технической эксплуатации в рамках требований основных нормативных документов, быстро адаптироваться в условиях особенностей работы различных судоходных компаний, уметь обоснованно и правильно принимать различные эксплуатационные решения относительно поддержания и восстановления технического состояния судовых турбомашин в условиях ограниченных ресурсов, уметь эффективно организовать труд свой и подчиненных, вести судовую документацию.

## 2. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок»), выпускник должен обладать следующими **ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**:

- способен эксплуатировать главные установки, вспомогательные механизмы и связанные с ними системы управления (ПК-2).

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины (знать, уметь, владеть), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенция или ее часть), представлены в табл. 1.

Таблица 1

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-2	способен эксплуатировать главные установки, вспомогательные	<b>Знать:</b> – принцип действия судовых технических средств; – требования правил эксплуатации судовых технических средств; – требования устава службы на рыбопромысловых	3(ПК-2)1 3(ПК-2)2

механизмы и связанные с ними системы управления	судах <b>Уметь:</b> – действовать в стандартных ситуациях; – действовать в нестандартных ситуациях; – принимать на себя ответственность за принятые решения	3(ПК-2)3  У(ПК-2)1 У(ПК-2)2 У(ПК-2)3
---	---	--

Обязательные профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Компетенции, 1-я колонка таблиц А-III/1-2 Кодекса ПДНВ
ПК-2. Способен эксплуатировать главные установки, вспомогательные механизмы и связанные с ними системы управления	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> . Знает основные принципы работы и конструкция механических систем ИД-2 <sub>ПК-2</sub> . Знает безопасные и аварийные процедуры эксплуатации механизмов двигательной установки, включая системы управления ИД-3 <sub>ПК-2</sub> . Знает эксплуатационные характеристики судовой двигательной установки, оборудования и систем, возможные причины неисправностей и отказов ИД-4 <sub>ПК-2</sub> . Знает профессиональный английский язык для выполнения обязанностей механика морского судна ИД-5 <sub>ПК-2</sub> . Знает меры по борьбе с загрязнением и все связанное с этим оборудование ИД-6 <sub>ПК-2</sub> . Умеет подготавливать, эксплуатировать главные установки, вспомогательные механизмы и связанных с ними систем управления ИД-7 <sub>ПК-2</sub> . Умеет предотвращать загрязнение окружающей среды нефтью и вредными жидкими веществами	Табл. А-III/1, функция судовые механические установки на уровне эксплуатации

Спецификация минимального стандарта компетентности в соответствии с Конвенцией ПДНВ-78 (Правила III/1 МК ПДНВ-78 с поправками, раздел А-III/1), функция: Судовые механические установки на уровне эксплуатации представлена в табл. 3.

Таблица 3

Сфера компетентности	Знание, понимание и профессиональные навыки	Методы демонстрации компетентности	Критерии для оценки компетентности
Эксплуатация главных установок и вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления	Подготовка, эксплуатация, обнаружение неисправностей и меры, необходимые для предотвращения причинения повреждений следующим механизмам и системам управления: .1 главный двигатель и связанные с ним	Экзамен и оценка результатов подготовки, полученной в одной или нескольких из следующих форм:	Операции планируются и выполняются в соответствии с руководствами по эксплуатации, установленными правилами и процедурами по обеспечению безопасности операций и избежанию загрязнения морской среды Отклонения от нормы быстро выявляются

	вспомогательные механизмы 3 вспомогательные первичные двигатели и связанные с ними системы	3 одобренная подготовка с использованием лабораторного оборудования	Работа силовой установки и технических систем постоянно отвечает требованиям, включая команды с мостика, относящиеся к изменению скорости и направления движения Причины неисправностей механизмов быстро выявляются и предпринимаются действия для обеспечения безопасности судна и установки в целом с учетом преобладающих обстоятельств и условий
--	---	---	--

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

В ходе преподавания дисциплины «СТМ» рассматриваются следующие основные вопросы:

- принцип действия СТМ и турбинных установок, их виды, многоступенчатые турбины со ступенями скорости и ступенями давления;
- конструкция судовых турбоагрегатов, их узлов и систем (детали проточной части, роторы и статоры, конденсационные установки);
- теория осевой турбинной ступени; потери энергии в турбинной ступени;
- теория ступеней радиальных турбомашин;
- теория осевых лопаточных компрессоров;
- основы тепловых расчетов турбинных ступеней;
- условия работы деталей турбомашин, обеспечение их прочности и надежности.

В состав дисциплины «СТМ» входят лекционный курс, практические занятия и самостоятельная работа. Дисциплина состоит из следующих разделов:

Введение. Предмет, задачи, содержание дисциплины. Историческая справка о развитии турбомашин, их современное состояние.

1. Основы теории турбомашин
  - 1.1. Теория осевой турбинной ступени.
  - 1.2. Принцип действия осевой компрессорной ступени.
  - 1.3. Теория ступеней радиальных турбомашин.
2. Конструкция судовых турбоагрегатов, их узлов и систем
  - 2.1. Судовые паровые и газовые турбины.
  - 2.2. Конструкция агрегатов наддува судовых дизелей.

В результате реализации настоящей программы учащиеся получают знания в области процессов истечения и использования энергии газа (пара), протекающих в сопловых и направляющих аппаратах СТМ, изучат их устройство, методики расчета и анализа. Это позволит применять полученные знания при оценке эффективности работы элементов судовых энергетических установок. Для проведения лекций и практических занятий используется кабинет «Судовых паровых котлов и турбин» (ауд. 3-111), компьютерный класс кафедры ЭУиЭС (ауд. 3-217) и тренажер судовой энергетической установки «Дизельсим», установленный (ауд. 2-201).

Изучаемый материал используется при подготовке к Государственной итоговой аттестации и выполнении выпускной квалификационной работы (дипломного проекта).

Изучение и построение дисциплины «СТМ» базируется на знании курсантами следующих разделов дисциплин естественнонаучного, общепрофессионального и специального циклов:

- «Химия»: основные закономерности протекания химических реакций, вода и растворы, основы электрохимии, химические свойства материалов, применяемых в машиностроении, основы водоподготовки;



Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий		Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	КСР	Итоговый контроль знаний по дисциплине
			Лекции	Практические занятия				
Всего	144	72	36	36	36		36	

Тематический план дисциплины по заочной форме обучения представлен в виде табл. 5.  
Таблица 5

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий		Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	КСР	Итоговый контроль знаний по дисциплине
			Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7		8
<b>Раздел 1. Основы теории турбомашин</b>	<b>93</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>73</b>		<b>6</b>	
Тема 1.1. Принцип действия судовых турбомашин и турбинных установок	37	6	2	4	29		2	
Тема 1.2. Теория осевой турбинной ступени	35	4	2	2	29		2	
Тема 1.3. Работа турбинной ступени	21	4	2	2	15		2	
<b>Раздел 2. Конструкция судовых турбоагрегатов, их узлов и систем</b>	<b>51</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>40</b>		<b>3</b>	
Тема 2.1. Осевые и радиальные турбомашин	25	4	2	2	20		1	
Тема 2.2. Конструкция судовых турбоагрегатов, их узлов и систем	26	4	2	2	20		2	
Экзамен								
Всего	144	22	10	12	113		9	

Описание содержания дисциплины по разделам и темам

### **Раздел 1. Основы теории турбомашин.**

Тема 1.1. Принцип действия судовых турбомашин и турбинных установок.

Лекция 1.1.1.

*Рассматриваемые вопросы:*

Предмет и задачи дисциплины, содержание курса, литература. Историческая справка о развитии паровых и газовых турбин, их современное состояние.

Лекция 1.1.2.

*Рассматриваемые вопросы:*

Виды турбин и турбинных установок. Принцип действия и устройство осевых и радиальных ступеней.

Лекция 1.1.3.

*Рассматриваемые вопросы:*

Многоступенчатые турбины со ступенями скорости и ступенями давления.



Тема 1.2. Теория осевой турбинной ступени.

Лекция 1.2.1.

*Рассматриваемые вопросы:*

Основные уравнения газового потока. Полные и статические параметры потока.

Лекция 1.2.2.

*Рассматриваемые вопросы:*

Критические параметры потока. Форма канала.

Лекция 1.2.3.

*Рассматриваемые вопросы:*

Расширение потока в косом срезе турбинных решеток. Действительный процесс течения газа в каналах неподвижной и рабочей решеток турбинной ступени. Потери энергии.

Лекция 1.2.4.

*Рассматриваемые вопросы:*

Расширение потока в косом срезе турбинных решеток. Кинематика потока в ступени. Силовое воздействие потока на рабочие лопатки.

Тема 1.3. Работа турбинной ступени.

Лекция 1.3.1.

*Рассматриваемые вопросы:*

Располагаемая (теоретическая) и действительная работа турбинной ступени. Окружной КПД. Способы уменьшения потерь

Лекция 1.3.2.

*Рассматриваемые вопросы:*

Внутренние КПД и мощность. Внешние потери энергии. Эффективный КПД и мощность турбоагрегата.

Литература: [1, с. 12—29; 35—50; 2, с. 9—26; 50—65].

## **Раздел 2. Конструкция судовых турбоагрегатов, их узлов и систем.**

Тема 2.1. Осевые и радиальные турбомашин.

Лекция 2.1.1.

*Рассматриваемые вопросы:*

Принцип действия и теория осевой лопаточной компрессорной ступени. Теоретический и полезный напоры, КПД ступени. Степень реактивности ступени. Режимы работы осевых лопаточных компрессорных ступеней

Лекция 2.1.2.

*Рассматриваемые вопросы:*

Теория ступеней радиальных турбомашин. Причины и область их применения. Уравнение энергии радиального рабочего канала. Уравнение Эйлера для радиальных турбомашин. Силовое воздействие потока на рабочие лопатки.

Лекция 2.1.3.

*Рассматриваемые вопросы:*

Схемы радиальных турбинной и компрессорной ступеней. Напор, степень реактивности и КПД центробежной компрессорной ступени и одноступенчатого компрессора

Тема 2.2. Конструкция судовых турбоагрегатов, их узлов и систем.

Лекция 2.2.1.

*Рассматриваемые вопросы:*

Условия работы деталей турбомашин, обеспечение их прочности и надежности. Компоновка и конструкция судовых Газотурбинных установок. Газотурбокомпрессоры систем наддува СДВС.

Лекция 2.2.2.

*Рассматриваемые вопросы:*

Конструктивные типы. Типоразмерные ряды. Конструкция осевых лопаточных компрессоров. Детали проточной части судовых турбомашин.

Лекция 2.2.3.

*Рассматриваемые вопросы:*

Роторы и статоры судовых турбомашин. Конструктивные типы подшипников. Возможные повреждения. Уплотнения турбомашин концевые и внутренние.

Лекция 2.2.4.

*Рассматриваемые вопросы:*

Типы уплотнений. Возможные повреждения. Зубчатые передачи (редукторы), валы и соединительные муфты. Системы, обслуживающие судовые турбоагрегаты.

Лекция 2.2.5.

*Рассматриваемые вопросы:*

Системы, обслуживающие судовые турбоагрегаты. Органы регулирования и управления судовыми турбоагрегатами.

Лекция 2.2.6.

*Рассматриваемые вопросы:*

Конструкция газотурбокомпрессоров для наддува СДВС.

Практическое занятие 1. Циклы турбомашин.

Выполнение расчётов (6 часов).

Практическое занятие 2. Основы теории турбинной ступени.

Выполнение расчётов (6 часа).

Практическое занятие 3. Принцип действия турбомашин.

Выполнение расчётов (4 часа).

Практическое занятие 4. Конструкция проточных частей турбомашин.

Изучение конструкции (4 часа).

Практическое занятие 5. Ротор, корпус, подшипники и уплотнения турбоагрегатов.

Изучение конструкции (4 часа).

Практическое занятие 6. Элементы газотурбинной установки.

Изучение конструкции (4 часа).

Практическое занятие 7. Системы турбоустановок.

Изучение конструкции (4 часа).

Практическое занятие 8. Турбокомпрессоры для наддува дизелей.

Изучение конструкции (4 часа).

Конкретные задания при выполнении практических занятий приведены в методических указаниях [1, 2], п. 11.3.

Самостоятельная работа:

1. Проработка учебного материала по конспекту и учебной литературе — 6 час.

2. Выполнение и подготовка к защите практических занятий — 8 час.

3. Конспектирование вопроса «Профилирование рабочих лопаток и сопел» — 2 часа (см. лит. [1], п. 11.1).

4. Конспектирование вопроса «Конструкция корпусов паровых турбин» — 2 часа (см. лит. [1], п. 11.1).

5. Конспектирование вопроса «Конструкция роторов паровых турбин» — 2 часа (см. лит. [1], п. 11.1).
6. Конспектирование вопроса «Системы паровых турбин» — 2 часа (см. лит. [1], п. 11.1).
7. Конспектирование вопроса «Внутренние потери в турбинной ступени» — 2 часа (см. лит. [1], п. 11.1).
8. Конспектирование вопроса «Потери в турбоагрегате. Эффективный КПД» — 2 часа (см. лит. [1], п. 1.1).
9. «Конспектирование вопроса «Способы регулирования мощности турбин» — 2 часа (см. лит. [1], п. 1.1).
10. «Конспектирование вопроса «Помпаж ГТН и его причины» — 4 часа (см. лит. [1], п. 1.1).
11. «Конспектирование вопроса «Основные положения правил технической эксплуатации ГТН» — 4 часа (см. лит. [1], п. 1.1).
12. Подготовка к итоговой аттестации по дисциплине — 4 час.

Литература: [1, с. 70—109; 2, с. 80—95; 100—126].

#### 5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа учащегося по дисциплине включает такие виды работы как:

- 1) изучение материалов, законспектированных в ходе лекций;
- 2) изучение литературы, проработка и конспектирование источников;
- 3) подготовка к защите практического занятия;
- 4) подготовка к промежуточной аттестации.

Перечень методических указаний:

1. *Гаврилов С. В.* Судовые турбомашинны: Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе для курсантов мореходного факультета специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок» очной формы обучения. — Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2018. — 45 с.

2. *Гаврилов С. В.* Судовые турбомашинны: Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности 26.5.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок» заочной формы обучения. — Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2018. — 35 с.

#### 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

1. Исторический обзор развития турбомашин и турбинных двигателей. Их место и перспективы применения в народном хозяйстве.

2. Принципиальные схемы и термодинамические циклы паротурбинной и газотурбинных установок. Работа и КПД установок.

3. Пути увеличения эффективности циклов паротурбинной и газотурбинных установок.

4. Турбокомпрессоры наддува дизелей.

5. Принцип действия и устройство ступеней турбомашин: активной и реактивной, ступеней скорости, осевой компрессорной ступени, радиальной турбинной и компрессорной ступеней.

6. Основные уравнения газового потока: уравнение сплошности, уравнение энергии неподвижного и рабочего каналов (теоретическая скорость истечения), уравнение состояния, уравнение Бернулли для газового потока, уравнение закона сохранения энергии.

7. Расход газа. Критические параметры потока, критическая скорость, критическое давление.

8. Форма канала при дозвуковом и сверхзвуковом течении газа в соплах и диффузорах.

9. Расширение газа в косом срезе. Угол отклонения при расширении в косом срезе, расширяющая способность косого среза, минимальное давление в выходном сечении.
10. Адиабатная скорость истечения.
11. Действительный процесс истечения в каналах неподвижной и рабочей решеток ступени. Коэффициенты скорости и потерь энергии, КПД решеток.
12. Процесс расширения в диаграмме  $i-S$ . Действительные скорости истечения, действительный расход газа в решетках.
13. Силовое воздействие потока на рабочие лопатки. Уравнение Эйлера осевой ступени.
14. Окружные потери энергии и их краткий анализ. Потери энергии в неподвижных и рабочих решетках. Профильные потери: потери трения в пограничном слое, кромочные потери, потери отрыва потока от профиля, волновые потери. Концевые потери. Потери с выходной скоростью.
15. Располагаемая (теоретическая) работа турбинной ступени. Действительная работа на окружности и окружной КПД ступени.
16. Камерные потери энергии в ступени. Потери от парциального впуска, потери от трения и вентиляции, потери от утечек рабочей среды, потери от влажности пара. Физическая сущность потерь, способы учета.
17. Внутренние КПД и мощность турбинной ступени, зависимость внутреннего КПД от характеристик турбины.
18. Причины, область применения и типы многоступенчатых турбин.
19. Турбины со ступенями скорости (колеса Кертиса). Схема проточной части, треугольники скоростей, изображение процесса в диаграмме  $i-S$ .
20. Работа на окружности турбины со ступенями скорости, окружной КПД, внутренний КПД и мощность турбины.
21. Многоступенчатые турбины со ступенями давления, их преимущества и особенности рабочего процесса. Изображение процесса в диаграмме  $i-S$ .
22. Возвращенная энергия многоступенчатой турбины, физическая сущность. Коэффициент возвращенной энергии (теплоты), его влияние на КПД турбины.
23. Использование выходной энергии предыдущих ступеней многоступенчатой турбины. Условия использования выходной энергии в ступенях. Изображение процесса расширения в турбине  $i-S$  при использовании выходной энергии на КПД турбины.
24. Внутренние потери и внешние потери турбоагрегата: потери на дросселирование в маневровых и сопловых клапанах, между корпусами и на выходе из турбоагрегата, их влияние на мощность и КПД турбоагрегата; механические потери, потери от утечек в концевых уплотнениях. Эффективный КПД и мощность турбоагрегата.
25. Работа турбины при изменении параметров и расхода рабочей среды. Зависимость мощности турбины от параметров и расхода рабочей среды.
26. Способы регулирования мощности турбин: количественное (сопловое), качественное (дроссельное). Работа турбины при сопловом и дроссельном регулировании мощности.
27. Зависимость момента, мощности и КПД турбинной ступени от частоты вращения ротора при неизменных начальных и конечных параметрах и расходе рабочей среды. Внешняя характеристика ступени и турбины.
28. Совместная работа турбины и потребителей энергии (генератор, винт).
29. Принцип действия и схема осевой компрессорной ступени. Теоретический и полезные напоры компрессорной ступени. КПД компрессорной ступени. Процессы сжатия в диаграмме  $i-S$ .
30. Многоступенчатые компрессоры. Процессы сжатия в диаграмме  $i-S$ . Коэффициент дополнительной работы, КПД компрессора, потребляемая мощность.
31. Причины и область применения радиальных турбомашин. Турбокомпрессоры наддува судовых дизелей.

32. Силовое воздействие потока на лопатки радиального рабочего колеса. Уравнение Эйлера для радиальной турбомашин. Удельная работа на окружности и КПД ступени радиальной турбомашин.

33. Схема радиально-осевой турбинной и компрессорной ступеней. Теоретический и полезный напор центробежной компрессорной ступени и одноступенчатого компрессора.

## 7. Рекомендуемая литература

### 7.1. Основная литература

1. *Корнилов Э. В., Бойко П. В., Ермошкин Н. Г.* Паровые и газотурбинные установки морских судов (в вопросах и ответах). — Одесса, 2004.

2. *Корнилов Э. В.* Системы газотурбинного наддува судовых дизелей: основы теории, эксплуатации, конструкции, ремонт. — Одесса, 2006. — 224 с.

### 7.2. Дополнительная литература

3. *Слободянюк А. И., Поляков В. И.* Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация. — Л.: Судостроение, 1983.

4. *Межеричский А. Д.* Агрегаты систем турбонаддува судовых двигателей. — Мурманск, 1983.

5. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. (ПДМВ-78) с поправками (консолидированный текст). — СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2013. — 806 с.

## 8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В рамках освоения учебной дисциплины «СТМ» предусмотрены следующие виды учебных занятий:

- лекции;
  - практические занятия;
  - самостоятельная работа;
  - групповые и индивидуальные консультации,
- а также прохождение аттестационных испытаний промежуточной аттестации.

Методика преподавания данной дисциплины предполагает чтение лекций, проведение практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций по отдельным (наиболее сложным) разделам и темам дисциплины. Предусмотрена самостоятельная работа обучающихся, а также прохождение аттестационных испытаний промежуточной аттестации.

*Лекции* посвящаются рассмотрению наиболее важных концептуальных вопросов: основным понятиям; обсуждению вопросов, трактовка которых в литературе еще не устоялась либо является противоречивой. В ходе лекций обучающимся следует подготовить конспекты лекций. Последний должен кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения. По ходу лекции в конспекте следует обозначить вопросы, термины. Материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Кроме того, в ходе лекции следует пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. После лекции следует проработать материал, обратиться к учебной литературе по теме, энциклопедиям, словарям, справочникам.

Терминологический аппарат следует проработать особенно тщательно, с выписыванием дефиниций в отдельную тетрадь или раздел тетради. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.

*Практические занятия.* Целью проведения практических (семинарских) занятий является закрепление знаний обучающихся, полученных ими в ходе изучения дисциплины на лекциях и самостоятельно. Практические занятия проводятся в форме семинаров. На них обсуждаются вопросы по теме, разбираются практические задания, решаются задачи, проводится тестирование, обсуждаются доклады, проводятся опросы. Для подготовки к занятиям семинарского типа студенты выполняют проработку рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины; конспектирование источников; работу с конспектом лекций; подготовку ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Вопросы к по темам практических занятий приводятся в фонде оценочных средств и в учебно-методическом пособии по дисциплине. Практические занятия проводятся также в форме дискуссий, лингвистических тренингов и практикумов.

*Самостоятельная работа под руководством преподавателя.* Выполнение практических заданий необходимо как для закрепления теоретического материала, так и для формирования умений и навыков применять полученные знания для решения проблем, с которыми обучающийся может столкнуться в практической деятельности. Практическое задание содержит описание проблемной ситуации, а также ряд связанных с этой ситуацией вопросов. При решении заданий, обучающемуся следует творчески использовать полученные знания, умения и навыки, а также сформированные уровни компетенции. Практическое задание не предполагает наличие стандартного решения. Его цель — выявление способности обучающегося применять полученные знания в профессиональной деятельности. Задания выполняются обучающимся самостоятельно и разбираются на соответствующих практических занятиях, а также в случаях предусмотренных тематическим планированием выкладываются в ЭИОС.

## 9. Курсовой проект (работа)

Выполнение курсового проекта (работы) не предусмотрено учебным планом.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационно-справочных систем

*10.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса*

1. Сайт журнала «Тяжелое машиностроение. Турбостроение». Код доступа: <http://www.tiajmash.ru/>.
2. Сайт журнала «Газотурбинные технологии». Код доступа: <http://www.gtt.ru/>.
3. Сайт журнала «Судостроение». Код доступа: <http://www.ssts.spb/>.

*10.2 Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса*

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

- операционные системы AstraLinux (или иная операционная система, включенная в реестр отечественного программного обеспечения);
- комплект офисных программ Р-7 Офис (в составе текстового процессора, программы работы с электронными таблицами, программные средства редактирования и демонстрации презентаций);

– программа проверки текстов на предмет заимствования «Антиплагиат».

1. Обучающая программа тренажерного комплекса «Дельта-судомеханик» (кафедральный компьютерный класс ауд. 3-217).

2. Обучающая программа тренажерного комплекса «Дизельсим» (тренажерный комплекс ауд. 1-211).

3. Программа контроля знаний «Questpic» (кафедральный компьютерный класс ауд. 3-217): разделы «Теория турбомашин», «Конструкция турбомашин», «Газотурбокомпрессоры систем наддува СДВС».

4. Лекции-презентации в формате «Power Point» по основным темам курса «СТМ» (кафедральный компьютерный класс ауд. 3-217):

— История развития судовых паровых турбин;

— История развития судовых газовых турбин;

— Циклы турбомашин;

— Основы теории турбинной ступени;

— Составные части турбомашин;

— Газотурбокомпрессоры для наддува СДВС.

5. Обучающая программа «Юнитест» (кафедральный компьютерный класс ауд. 3-217).

## 11. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Четырехступенчатая вспомогательная паровая турбина.

2. Редуктор турбозубчатого агрегата.

3. Газовая турбина авиационного типа.

3. Многоступенчатый осевой воздушный компрессор.

4. Турбокомпрессор для наддува дизеля типа НВД-48.

5. Турбокомпрессор типа ТРК-14.

6. Сопловые сегменты паровой турбины.

7. Рабочие лопатки паровых и газовых турбин.

8. Ротор турбокомпрессора типа ТК-23.

9. Турбина вспомогательная активная двухступенчатая.

10. Диск одноступенчатой активной турбины.

11. Сопла с косым срезом паровой турбины.

12. Стенд «Принцип действия паровой турбины».

13. Стенд «Газотурбинные установки».

14. Стенд «Принцип действия ГТУ».

15. Редуктор газотурбинной установки.

16. Валоповоротное устройство ГТУ.

17. Комплект плакатов и схем.

## Раздаточный материал

1. Диаграмма  $i-S$  для воды и водяного пара.

2. Таблицы термодинамического состояния воды и водяного пара.

3. Тестовые задания для контроля знаний.