Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 23.09.2023 16:29:49
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет урбанистики и городского хозяйства

УТВЕРЖДАЮ

Декан

_____ /К.И. Лушин/

«16» февраля 2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Нагнетатели тепловые двигатели»

Направление подготовки

13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Профиль

Интеллектуальные тепловые энергосистемы

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная и заочная

Москва, 2023 г.

Разработчик:

Доцент, к.т.н., доцент _____ / В.С. Тимохин /
И.О. Фамилия

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», к.т.н., доцент _____ / Л.А. Марюшин /
И.О. Фамилия

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины 5
   3.1 Виды учебной работы и трудоемкость 5
   3.2 Тематический план изучения дисциплины 6
   3.3 Содержание дисциплины 7
   3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 8
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 9
   4.1 Нормативные документы и ГОСТы 9
   4.2 Основная литература 9
   4.3 Дополнительная литература 9
   4.4 Электронные образовательные ресурсы 9
   4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 10
   4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 10
5. Материально-техническое обеспечение 10
6. Методические рекомендации 11
   6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 11
   6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 12
7. Фонд оценочных средств 12
   7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 12
   7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 12
   7.3 Оценочные средства 13

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» относятся:

– изучение тепловых двигателей и нагнетателей, применяемых в промышленности;

– овладение современными методами технологических расчетов и выбором энергетического оборудования для промышленных установок с различным целевым направлением;

– расширение кругозора, проявление самостоятельности при выполнении расчетов и технико-экономического обоснования принятых технических решений.

К основным задачам освоения дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» относятся:

– приобретение студентами знаний о типах и конструкциях основных нагнетателей и тепловых двигателей, применяемых в промышленных установках;

– изучение технических характеристик тепловых двигателей и нагнетателей, а также методы выбора их для энергетических установок;

– освоение способов регулирования производительности тепловых двигателей и нагнетателей;

– приобретение навыков использования методических нормативных материалов, технических и технологических документаций, современных информационных средств и технологий.

Обучение по дисциплине «Нагнетатели и тепловые двигатели» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3. Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД с использованием современных программных средств	ИПК-3.1. Участвует в разработке схем размещения ОПД в соответствии с технологией производства ИПК-3.2. Соблюдает правила технологической дисциплины при эксплуатации ОПД ИПК-3.3. Выполняет тепловые и гидравлические расчеты технологических систем, процессов и оборудования
ПК-4. Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД с оценкой их энергетической, экономической и экологической эффективности	ИПК-4.1. Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению на ОПД ИПК-4.2. Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на ОПД

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Нагнетатели и тепловые двигатели» относится к числу профессиональных учебных дисциплин по выбору базового цикла (Б.1.2) основной образовательной программы бакалавриата. «Нагнетатели и тепловые двигатели» взаимосвязаны логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Техническая термодинамика;
- Тепломассообмен;
- Водоподготовка;
- Гидрогазодинамика;
- Технологические энергоносители предприятий;
- Тепломассообменное оборудование предприятий.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5** зачетных единицы (**180** часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			5 семестр
1	**Аудиторные занятия**	**90**	**90**
	В том числе:		
1.1	Лекции	54	54
1.2	Семинарские/практические занятия	36	36
1.3	Лабораторные занятия	-	-
2	**Самостоятельная работа**	**90**	**90**
	В том числе:		
2.1	Тестирование	9	9
2.2	Самостоятельное изучение	81	81
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**экзамен**	экзамен
	Итого	**180**	**180**

3.1.2. Заочная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			6 семестр
1	**Аудиторные занятия**	**18**	**18**
	В том числе:		
1.1	Лекции	8	8
1.2	Семинарские/практические занятия	10	10
1.3	Лабораторные занятия	-	-
2	**Самостоятельная работа**	**162**	**162**
	В том числе:		
2.1	Тестирование	9	9
2.2	Самостоятельное изучение	153	153
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**экзамен**	экзамен
	Итого	**180**	**180**

3.2 Тематический план изучения дисциплины

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	**Раздел 1. Назначение и содержание курса.**	**6**	2	2			2
2	**Раздел 2. Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин.**	**17**	6	3			8
3	**Раздел 3. Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин.**	**17**	6	3			8
4	**Раздел 4. Паровые турбины.**	**30**	8	6			16
5	**Раздел 5. Газовые турбины.**	**30**	8	6			16
6	**Раздел 6. Нагнетатели объемного действия.**	**27**	8	5			14
7	**Раздел 7. Нагнетатели кинетического действия.**	**27**	8	5			14
8	**Раздел 8. Детандеры.**	**13**	4	3			6
9	**Раздел 9. Двигатели внутреннего сгорания.**	**13**	4	3			6
	Итого	**180**	**54**	**36**			**90**

3.2.2. Заочная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	**Раздел 1. Назначение и содержание курса.**	**5**	0,5	0,5			4
2	**Раздел 2. Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин.**	**16**	1	1			14
3	**Раздел 3. Газодинамический анализ процессов расширения**	**15,5**	0,5	1			14

	нагнетательных и расширительных машин.						
4	**Раздел 4. Паровые турбины.**	**31,5**	1,5	2			28
5	**Раздел 5. Газовые турбины.**	**31,5**	1,5	2			28
6	**Раздел 6. Нагнетатели объемного действия.**	**25**	1	1			23
7	**Раздел 7. Нагнетатели кинетического действия.**	**25**	1	1			23
8	**Раздел 8. Детандеры.**	**15**	0,5	0,5			14
9	**Раздел 9. Двигатели внутреннего сгорания.**	**15,5**	0,5	1			14
	Итого	**180**	**8**	**10**			**162**

3.3 Содержание дисциплины

Раздел 1. Назначение и содержание курса.

Назначение курса. Схемы и области применения нагнетателей и тепловых двигателей в системах энергоснабжения предприятий. История создания и развития. Основные понятия и определения. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей по принципу действия.

Раздел 2. Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин.

Основные параметры, характеризующие нагнетательные и расширительные машины. Термодинамические процессы сжатия и расширения газов. Применение законов термодинамики к описанию процессов. Уравнение сохранения энергии для потока массы при сжатии и расширении. Идеальные и реальные процессы. Общая классификация тепловых потерь. Интерпретация процессов в диаграммах состояния. Определение работы и мощности, КПД расширительных и нагнетательных машин.

Раздел 3. Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин.

Динамический нагнетатель. Кинематика процессов, треугольники скоростей в осевой и радиальной ступенях. Активный и реактивный принцип работы. Параметры ступени нагнетателя. Определение окружного и осевого усилий в нагнетательной и расширительной машинах. Газодинамические основы расчета турбомашин. Уравнение Эйлера. Анализ уравнения Эйлера применительно к осевой и радиальной ступеням.

Раздел 4. Паровые турбины.

Активная и реактивная турбинная ступень. Общие сведения. Анализ уравнения Эйлера для турбинной ступени. Тепловой процесс в ступени паровой турбины. Расширение пара в сопловых и направляющих лопатках. Характер изменения параметров рабочего тела в проточной части турбинной ступени. Работа, мощность, расход пара турбинной ступени. Внутренние и внешние потери в проточной части турбинной ступени, их физическое толкование. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Методика теплового расчета турбинной ступени. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства и принцип действия. Конструктивные особенности многоступенчатых активных и реактивных турбин. Влияние коэффициента возврата на КПД многоступенчатой турбины. Регулирование паровых турбин. Предварительный тепловой расчет многоступенчатых турбин. Классификация, и энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных паровых турбин.

Раздел 5. Газовые турбины.

Реальные циклы газотурбинных установок. Стандартные параметры пара. Парораспределение. Классификация, типы, принципиальные схемы, энергетические

характеристики газотурбинных установок. Парогазовые установки. Особенности конструкции газовых турбин. Применение ГТУ в промышленности и энергетике.

Раздел 6. Нагнетатели объемного действия.

Классификация нагнетателей объемного действия, особенности их работы и область применения. Ротационные и поршневые нагнетатели. Работа сжатия в идеальном и реальном поршневом компрессоре. Удельная и полная работа, мощность поршневого компрессора. Мертвое пространство и его влияние на производительность поршневого компрессора. КПД компрессора. Способы регулирования производительности поршневых компрессоров. Методика определения основных размеров поршневых компрессоров, подбор привода.

Раздел 7. Нагнетатели кинетического действия.

Классификация нагнетателей кинетического действия. Теоретический напор центробежного нагнетателя. Зависимость напора от характерных размеров и частоты вращения колеса центробежного нагнетателя. Теоретические и действительные характеристики центробежных нагнетателей. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть. Условия работы нагнетателя на сеть. Допустимая высота всасывания центробежного насоса. Кавитация. Типы насосов и вентиляторов, области их применения. Особенности конструкции центробежных и осевых насосов и вентиляторов. Работа компрессора на сеть. Устойчивая и неустойчивая работа нагнетателей. Помпаж. Влияние начальных условий и рода газа на характеристики компрессора. Центробежный и осевой компрессоры, преимущественные области их применения. Особенности конструкций многоступенчатых центробежных и осевых компрессоров. Методы расчета основных размеров турбокомпрессоров. Выбор компрессора и привода к нему. Струйные нагнетатели.

Раздел 8. Детандеры.

Детандеры. Типы и характеристики детандеров, особенности их конструкции и области применения.

Раздел 9. Двигатели внутреннего сгорания.

Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы, устройство и основные показатели работы двигателей внутреннего сгорания. Двигатели Стерлинга. Экономические показатели работы двигателей внутреннего сгорания.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Семинарское занятие 1. «Назначение и содержание курса».

Семинарское занятие 2. «Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин».

Семинарское занятие 3. «Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин».

Семинарское занятие 4. «Паровые турбины».

Семинарское занятие 5. «Газовые турбины».

Семинарское занятие 6. «Нагнетатели объемного действия».

Семинарское занятие 7. «Нагнетатели кинетического действия».

Семинарское занятие 8. «Детандеры».

Семинарское занятие 9. «Двигатели внутреннего сгорания».

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ Р 52744-2007. Насосы погружные и агрегаты насосные. Требования безопасности.
2. ГОСТ 31839-2012 (EN 809:1998). Насосы и агрегаты насосные для перекачки жидкостей. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 52615-2006 (EN 1012:1996). Компрессоры и вакуумные насосы. Общие требования безопасности.
4 ГОСТ Р 58644-2019 Компрессоры и компрессорно-конденсаторные агрегаты холодильные. Методы испытаний по определению основных характеристик.
5. ГОСТ Р 24278-2016. Установки турбинные паровые стационарные для привода электрических генераторов ТЭС. Общие технические требования.
6. ГОСТ Р 54403-2011. Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия.
7. ГОСТ 34365-2017. Турбины тепловые промышленного применения (паровые турбины, газовые турбины со ступенями давления). Общие требования.
8. ГОСТ 10150-2014. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия.
9. ГОСТ Р 54202-2010. Ресурсосбережение. Газообразные топлива. Наилучшие доступные технологии сжигания.
10. ГОСТ 33115-2014. Установки электрогенераторные с дизельными и газовыми двигателями внутреннего сгорания. Общие технические условия.

4.2 Основная литература

1. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов. /Буров В.Д., Ремизов А.Н.; под ред. С.В. Цанева М.: МЭИ, 2009 Гриф УМО.

4.3 Дополнительная литература

2. Теплоэнергетика и теплотехника: справ.: в 4 кн. Кн. 3: Тепловые и атомные электростанции/ М.С.Алхутов, А.Н.Безгрешнов, Р.Г.Богоявленский и др. / под ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина М.: МЭИ, 2007.
3. Журнал «Главный энергетик», ИД "Панорама".

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Проведение занятий и аттестаций возможно в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS) на основе разработанных кафедрой электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем разделам программы:

Название ЭОР	
Нагнетатели тепловые двигатели	https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=10713

Разработанный ЭОР включают промежуточный и итоговый тесты.

Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Каждый студент обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронным библиотекам университета (http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog).

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах: http://www.energy2021.ru и http://www.energosovet.ru.

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. МойОфис – российская компания-разработчик безопасных офисных решений для общения и совместной работы с документами (Альтернатива MS Office) https://myoffice.ru/
2. Платформа nanoCAD – это российская платформа для проектирования и моделирования объектов различной сложности. Поддержка форматов *.dwg и IFC делает ее отличным решением для совмещения САПР- и BIM-технологий. Функционал платформы может быть расширен с помощью специальных модулей https://www.nanocad.ru/support/education/
3. Система трехмерного моделирования «КОМПАС-3D» https://edu.ascon.ru/main/download/freeware/
4. VALTEC.PRG.3.1.3. Программа для теплотехнических и гидравлических расчетов https://valtec.ru/document/calculate/
5. Онлайн расчеты АВОК-СОФТ https://soft.abok.ru/help_desk/

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Российская национальная библиотека http://www.nlr.ru
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php
3. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru
4. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru
5. Образовательная платформа ЮРАЙТ http://www.urait.ru
6. «Техэксперт» – справочная система, предоставляющая нормативно-техническую, нормативно-правовую информацию https://техэксперт.сайт/
7. НП «АВОК» – помощник инженера по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике https://www.abok.ru/
8. Е-ДОСЬЕ – Электронный эколог. Независимая информация о российских организациях, база нормативных документов и законодательных актов https://e-ecolog.ru/
9. Инженерная сантехника VALTEC (каталог продукции и нормативная документация) https://valtec.ru/

5. Материально-техническое обеспечение

Для проведения лекционных занятий используются аудитории, оснащенные компьютерами, интерактивными досками, мультимедийными проекторами и экранами: АВ2404, АВ2415 и аудитории общего фонда. Для проведения семинарских и лабораторных работ используются аудитории: АВ2406, АВ1101 и аудитории корпуса УРБАН.ТЕХНОГРАД Инновационно-образовательного комплекса «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

6.1.1 Преподаватель организует преподавание дисциплины в соответствии с требованиями «Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете и его филиалах», утверждённым ректором университета.

6.1.2 На первом занятии преподаватель доводит до сведения студентов содержание рабочей программы дисциплины (РПД).

6.1.3 Преподаватель особенно обращает внимание студентов на:

- виды и формы проведения занятий по дисциплине, включая порядок проведения занятий с применением технологий дистанционного обучения и системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха);
- виды, содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости в соответствии с фондом оценочных средств;
- форму, содержание и порядок проведения промежуточной аттестации в соответствии с фондом оценочных средств, предусмотренным РПД.

6.1.4 Преподаватель доводит до сведения студентов график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД.

6.1.5 Преподаватель рекомендует студентам основную и дополнительную литературу.

6.1.6 Преподаватель предоставляет перед промежуточной аттестацией (экзаменом или зачётом) список вопросов для подготовки.

6.1.7 Преподаватели, которые проводят лекционные и практические (семинарские) занятия, согласуют тематический план практических занятий, чтобы использовать единую систему обозначений, терминов, основных понятий дисциплины.

6.1.8 При подготовке к семинарскому занятию по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, согласно РПД, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем вопросов по теме семинара.

В ходе семинара во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы семинарского занятия, определить порядок его проведения, время на обсуждение каждого учебного вопроса. Использовать фронтальный опрос давая возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

В заключительной части семинарского занятия следует подвести итоги: дать оценку выступлений каждого студента и учебной группы в целом. Раскрыть положительные стороны и недостатки проведенного семинарского занятия. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

6.1.9 Целесообразно в ходе защиты рефератов, лабораторных работ, курсовых работ и проектов задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха).

6.1.10 Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

6.2.1 Студенту необходимо составить для себя график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД с учётом требований других дисциплин, изучаемых в текущем семестре.

6.2.2 При проведении занятий и процедур текущей и промежуточной аттестации с использованием инструментов информационной образовательной среды дистанционного образования университета (СДО Московского Политеха), как во время контактной работы с преподавателем, так и во время самостоятельной работы студент должен обеспечить техническую возможность дистанционного подключения к системам дистанционного обучения. При отсутствии такой возможности обсудить ситуацию с преподавателем дисциплины.

6.2.3 К промежуточной аттестации допускаются только обучающиеся, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины (РПД).

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Контроль успеваемости и качества подготовки проводится в соответствии с требованиями "Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете".

Для контроля успеваемости и качества освоения дисциплины настоящей программой предусмотрены следующие виды контроля:

– контроль текущей успеваемости (текущий контроль);

– промежуточная аттестация.

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

– доклад по теме: «Нагнетатели и тепловые двигатели» (индивидуально для каждого обучающегося);

– подготовка и выступление на семинарском занятии с докладом и обсуждением;

– тест, экзамен.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины – защита докладов, решение задач.

Образцы тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по

дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Нагнетатели и тепловые двигатели».

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложении к рабочей программе.

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Для проведения текущего контроля применяются следующие формы: разноуровневые задачи и задания; доклад, сообщение; устный опрос, собеседование; тест.

7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится на соответствующих формам обучения семестрах в форме экзамена.

Экзамен проводится по билетам, ответы предоставляются письменно с последующим устным собеседованием. Билеты формируются из вопросов представленного ниже перечня. В билет включается два вопроса из разных разделов дисциплины и одно практическое задание.

Перечень вопросов соответствует темам, изученным на лекционных и семинарских занятиях (прилагается). Время на подготовку письменных ответов – до 40 мин, устное собеседование – до 10 минут.

Приложение

Темы докладов по дисциплине

1. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей по принципу действия.
2. Основные параметры, характеризующие нагнетательные и расширительные машины. Термодинамические процессы сжатия и расширения газов.
3. Определение работы и мощности, КПД расширительных и нагнетательных машин.
4. Тепловой процесс в ступени паровой турбины. Расширение пара в сопловых и направляющих лопатках.
5. Работа, мощность, расход пара турбинной ступени.
6. Влияние коэффициента возврата на КПД многоступенчатой турбины.
7. Регулирование паровых турбин.
8. Классификация, и энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных паровых турбин.
9. Классификация, типы, принципиальные схемы, энергетические характеристики газотурбинных установок.
10. Парогазовые установки.
11. Особенности конструкции газовых турбин. Применение ГТУ в промышленности и энергетике.
12. Классификация нагнетателей объемного действия, особенности их работы и область применения.
13. Ротационные и поршневые нагнетатели.
14. Классификация нагнетателей кинетического действия.
15. Кавитация.
16. Типы насосов и вентиляторов, области их применения.
17. Особенности конструкции центробежных и осевых насосов и вентиляторов.
18. Работа компрессора на сеть. Устойчивая и неустойчивая работа нагнетателей. Помпаж.
19. Струйные нагнетатели.
20. Детандеры. Типы и характеристики детандеров, особенности их конструкции и области применения.
21. Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы, устройство и основные показатели работы двигателей внутреннего сгорания.
22. Двигатели Стерлинга.
23. Турбины с двумя регулируемыми отборами пара.
24. Турбины с двумя отопительными отборами пара.

Список экзаменационных вопросов по дисциплине

1. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей по принципу действия.
2. Динамический нагнетатель. Кинематика процессов, треугольники скоростей в осевой и радиальной ступенях. Активный и реактивный принцип работы. Параметры ступени нагнетателя.
3. Определение окружного и осевого усилий в нагнетательной и расширительной машинах.
4. Газодинамические основы расчета турбомашин. Уравнение Эйлера. Анализ уравнения Эйлера применительно к осевой и радиальной ступеням.
5. Основные параметры, характеризующие нагнетательные и расширительные машины. Термодинамические процессы сжатия и расширения газов. Применение законов термодинамики к описанию процессов.

6. Уравнение сохранения энергии для потока массы при сжатии и расширении. Идеальные и реальные процессы. Интерпретация процессов в диаграммах состояния.
7. Определение работы и мощности, КПД расширительных и нагнетательных машин.
8. Тепловой процесс в ступени паровой турбины. Расширение пара в сопловых и направляющих лопатках.
9. Характер изменения параметров рабочего тела в проточной части турбинной ступени.
10. Работа, мощность, расход пара турбинной ступени.
11. Внутренние и внешние потери в проточной части турбинной ступени, их физическое толкование.
12. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Методика теплового расчета турбинной ступени.
13. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства и принцип действия.
14. Конструктивные особенности многоступенчатых активных и реактивных турбин.
15. Влияние коэффициента возврата на КПД многоступенчатой турбины.
16. Регулирование паровых турбин.
17. Предварительный тепловой расчет многоступенчатых турбин.
18. Классификация, и энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных паровых турбин.
19. Реальные циклы газотурбинных установок. Стандартные параметры пара. Парораспределение.
20. Классификация, типы, принципиальные схемы, энергетические характеристики газотурбинных установок.
21. Парогазовые установки.
22. Особенности конструкции газовых турбин. Применение ГТУ в промышленности и энергетике.
23. Классификация нагнетателей объемного действия, особенности их работы и область применения.
24. Ротационные и поршневые нагнетатели.
25. Работа сжатия в идеальном и реальном поршневом компрессоре. Удельная и полная работа, мощность поршневого компрессора.
26. Мертвое пространство и его влияние на производительность поршневого компрессора.
27. КПД компрессора. Способы регулирования производительности поршневых компрессоров.
28. Методика определения основных размеров поршневых компрессоров, подбор привода.
29. Классификация нагнетателей кинетического действия.
30. Теоретический напор центробежного нагнетателя. Зависимость напора от характерных размеров и частоты вращения колеса центробежного нагнетателя.
31. Теоретические и действительные характеристики центробежных нагнетателей.
32. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть. Условия работы нагнетателя на сеть.
33. Допустимая высота всасывания центробежного насоса.
34. Кавитация.
35. Типы насосов и вентиляторов, области их применения.
36. Особенности конструкции центробежных и осевых насосов и вентиляторов.
37. Работа компрессора на сеть. Устойчивая и неустойчивая работа нагнетателей. Помпаж.
38. Влияние начальных условий и рода газа на характеристики компрессора.
39. Центробежный и осевой компрессоры, преимущественные области их применения.
40. Особенности конструкций многоступенчатых центробежных и осевых компрессоров.

41. Методы расчета основных размеров турбокомпрессоров. Выбор компрессора и привода к нему.
42. Струйные нагнетатели.
43. Детандеры. Типы и характеристики детандеров, особенности их конструкции и области применения.
44. Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы, устройство и основные показатели работы двигателей внутреннего сгорания.
45. Двигатели Стерлинга.
46. Эрозия деталей паровых турбин; защитные мероприятия.
47. Турбины с двумя регулируемыми отборами пара.
48. Турбины с двумя отопительными отборами пара.
49. Встроенные пучки в конденсаторах теплофикационных турбин.
50. Диаграммы режимов турбин с двумя отопительными отборами пара.

Примерный перечень вопросов для промежуточного тестирования

1) Насос — это?
1. гидравлическая машина для напорного перемещения (нагнетания) жидкости в результате сообщения ей механической энергии
2. аппарат для хранения воды
3. устройство (гидравлическая машина или аппарат) для напорного перемещения (всасывания и нагнетания) главным образом капельной жидкости в результате сообщения ей механической энергии
4. гидравлическая машина для напорного перемещения (всасывания) жидкости в результате сообщения ей механической энергии

2) Компрессор — это?
1. машина для понижения давления и перемещения газа
2. машина для повышения давления
3. машина для перемещения газа
4. машина для повышения давления и перемещения газа

3) Компрессорная установка – это?
1. совокупность компрессоров, вспомогательного оборудования и без привода
2. совокупность компрессора, привода и вспомогательного оборудования
3. совокупность компрессора без вспомогательного оборудования
4. совокупность компрессора привода и без вспомогательного оборудования

4) Что относиться к компрессорным установкам?
1. газоохладитель
2. осушитель сжатого воздуха
3. Лопастные компрессоры
4. все ответы верны

5) Компрессоры, различные
1. по давлению, производительности
2. сжимаемой среде
3. условиям окружающей среды
4. имеют большое разнообразие конструкций и типов
5. все ответы верны

6) нагнетатель – это?
1. Гидравлические машины для подачи жидкостей и газов
2. Гидравлические машины для подачи только газов
3. Гидравлические машины для подачи только жидкостей
4. Гидравлические машина

7) Лопастные насосы также подразделяются:
1. по конструкции отвода
2. по числу потоков внутри рабочего колеса
3. по числу ступеней рабочих колес в насосе
4. по числу потоков
5. все ответы верны

8) Динамические насосы-машины бывают:
1. Центробежные
2. Осевые
3. Диагональные
4. Вихревые
5. Все ответы верны

9) Классификация центробежных насосов по потокам внутри рабочего колеса
1. только одностороннего входа
2. только двустороннего входа
3. одностороннего входа и двустороннего входа
4. нет правильного ответа

10) Какой тип насосов обознается буквой «Х»?
1. Хромовые
2. Химические
3. Хрупкие
4. Хордовые

11) Подача (производительность) насоса - это?
1. масса жидкости или газа, подаваемое машиной в сеть в единицу времени
2. масса только жидкости подаваемое машиной в сеть в единицу времени
3. масса только газа подаваемое машиной в сеть в единицу времени
4. количество вещества, подаваемое машиной в сеть в единицу времени

12) Напор насоса (м)- это?
1. это энергия, сообщаемая насосом жидкости
2. это перемещение жидкости
3. это удельная механическая энергия, сообщаемая насосом жидкости в единицу времени
4. нет правильного ответа

13) Что должно стоять вместо знака вопроса?
1. нагнетатель
2. привод
3. компрессор
4. вспомогательная аппаратура

14) Всасывающая способность обусловлена явлением…

1. ускорением
2. гравитацией
3. кавитацией
4. вихревым потоком

15) Центробежные насосы используются в теплоэнергетических установках для…
1. питания котлов
2. подачи конденсата и сетевой воды
3. для подачи умеренно вязких жидкостей в химической и нефтехимической промышленности
4. все ответы верны

16) В конденсационных установках мощных паровых турбин применяют..
1. Струйные насосы
2. Осевые насосы
3. Поршневые насосы
4. Центробежные компрессоры

17) Осевые вентиляторы используются в установках ….
1. местного проветривания
2. в градирнях
3. 1 и 2 ответ верны
4. нет правильного ответа

18) На каком производстве в основном используют центробежные компрессоры?
1. на тепловых станциях
2. химическом и металлургическом производствах
3. машиностроительном производстве
4. в коттеджах

19) Почему действительный напор насоса меньше теоретического?
1. реальные лопатки имеют конечную толщину и их количество ограниченно
2. при течении жидкости в насосе
3. в межлопаточных каналах, при входе жидкости на лопатки, в улитке, во всасывающем и нагнетательном патрубках
4. все ответы верны

20) Что означает буква «А»
1. подвод конфузорного типа
2. приводной вал
3. рабочее колесо
4. зона возможной кавитации

21) Отводом называют….
1. часть проточной полости машины, принимающую перемещаемую среду из рабочего колеса и частично преобразующую кинетическую энергию этой среды в потенциальную
2. часть проточной полости машины, подводящую перемещаемую среду к входному отверстию рабочего колеса
3. часть проточной полости машины, подводящую перемещаемую среду из рабочего колеса и частично преобразующую кинетическую энергию этой среды в потенциальную
4. часть проточной полости машины, принимающую перемещаемую среду к входному отверстию рабочего колеса

22) Компенсация осевой силы происходит благодаря следующим конструктивным решениям
1. применению рабочего колеса с двусторонним входом либо с двусторонним симметричным входом (для многоступенчатых машин)
2. использованию переточных отверстий и ложной ступицы
3. выполнению импеллера на задней стороне рабочего колеса
4. в многоступенчатых насосах — установке разгрузочного диска (гидравлической пяты)
5. все ответы верны

23) Автоколебания, или помпаж – это?
1. Только при определенном сочетании форм, снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе возбуждаются самопроизвольные колебания подачи, напора и мощности машины
2. При определенном сочетании форм характеристик машины и сети снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе происходят самопроизвольные колебания подачи
3. При определенном сочетании форм характеристик машины и сети снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе возбуждаются самопроизвольные колебания подачи, напора и мощности машины
4. При определенном сочетании характеристик машины снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе возбуждаются самопроизвольные колебания подачи напора

24) Конструктивные признаки центробежных насосов:
1. соединение рабочих органов с электродвигателем
2. расположение рабочих органов относительно жидкости в питающей емкости
3. уплотнение вала
4. материал проточной части (сталь, чугун, титан, неметаллические материалы)
5. все ответы верны

25) К эксплуатационным признакам центробежных насосов относятся:
1. температура перекачиваемой жидкости
2. содержание в ней твердых частиц
3. давление на входе в насос
4. все ответы верны

26) Условное обозначение материала проточной части химических насосов: «Д»
1. Титан
2. Различные покрытия
3. Хромоникельмолибденомедистая сталь
4. Хромистая сталь

27) Условное обозначение материала проточной части химических насосов: «Ю»
1. Алюминий
2. Хромоникелькремниевая сталь
3. Резина
4. Графит

28) Центробежные горизонтальные химические насосы типа «Х» предназначены для перекачивания:
1. нейтральных и агрессивных жидкостей

2. нейтральных жидкостей
3. воды и агрессивных жидкостей
4. воды и нейтральных жидкостей

29) СМ, СД, ФГ, КФС, СДВ, ДФ – какой вид насосов?
1. насосы осевые
2. насосы центробежные
3. насосы для сточно-массных сред
4. насосы струйные

30) Материал проточной части СМ, СД, ФГ, КФС, СДВ, ДФ?
1. серый чугун
2. железо
3. сталь
4. нержевейка
5. керамика

31) Электронасосные агрегаты типа СМ используются для перекачивания жидкостей?
1. бытовые и промышленные сточные воды
2. водные смеси с зерном и лакокрасочные пульпы
3. пищевые соки и пасты
4. картофельно-крахмальные суспензии и продукты сахарного производства
5. все ответы верны

32) Какой вид насосов для сточно-массных сред обозначается буквой «Д»?
1. Электронасосные агрегаты
2. Насосы центробежные двустороннего входа фекальные
3. Насосы центробежные двустороннего входа
4. Насосы грязевые

33) какой вид насосов для сточно-массных сред обозначается буквой «ДФ»?
1. Насосы канализационные
2. Насосы центробежные двустороннего входа фекальные
3. Электронасосные агрегаты
4. Насосы центробежные двустороннего входа

34) ГНОМ, ЦМК, ЦМФ – какой вид насосов?
1. Электронасосные агрегаты
2. Насосы центробежные двустороннего входа фекальные
3. Насосы центробежные двустороннего входа
4. Насосы грязевые, канализационные

35) Шестеренные насосы относятся к …
1. объемным роторным машинам
2. центробежным насосам
3. вихревым насосам
4. электронасосам

36) По конечному давлению компрессорные машины различают…
1. вакуум-компрессоры
2. компрессоры низкого давления

3. компрессоры сверхвысокого давления
4. компрессоры высокого давления
5. компрессоры среднего давления
6. все ответы верны

37) Компрессоры называют дожимающими, если…
1. давление всасываемого газа p0 существенно превышает атмосферное
2. давление всасываемого газа p0 существенно меньше атмосферное
3. давление всасываемого газа p0 равно атмосферному
4. давление всасываемого газа p0 существенно превышает вакуумное давление

38) По способу отвода теплоты различают компрессоры…
1. только с водяным охлаждением
2. с водяным и воздушным охлаждением
3. с воздушным охлаждением и с помощью хладагентов
4. только с помощью хладагентов

39) При каких давлениях используются ротационно-пластинчатые компрессоры?
1. до 1,2 МПа
2. 2,5 МПа
3. 1,6 МПа
4. все ответы верны

40) Мембранные компрессоры
1. в которых объем газа изменяется при возвратно-поступательном движении эластичной мембраны
2. в которых объем газа не изменяется при возвратно-поступательном движении эластичной мембраны
3. в которых объем газа изменяется при вращательном движении эластичной мембраны
4. в которых объем газа не изменяется при вращательном движении эластичной мембраны

41) Какой вид компрессора?
1. Жидкостно-кольцевой компрессор
2. Мембранный компрессор
3. Ротационно-пластинчатый компрессор
4. Винтовой компрессор сухого трения

42) Какой вид компрессора?
1. Жидкостно-кольцевой компрессор
2. Мембранный компрессор
3. Ротационно-пластинчатый компрессор
4. Винтовой компрессор сухого трения

43) Смерчевой вентилятор
1. При вращении колеса возникает вихревое течение, аналогичное смерчу, в центральной и периферийной частях которого образуется перепад давлений, являющийся побудителем движения воздуха
2. Газ вначале движется в осевом направлении и поступает во вращающееся рабочее колесо, где под действием центробежной силы проходит в радиальном направлении через межлопаточные каналы и выходит сквозь кольцевой радиальный лопастной диффузор

3. Если во вращающееся колесо барабанного типа поместить неподвижное тело, расположенное несимметрично относительно оси колеса, то осесимметричный вихрь, образующийся вокруг колеса, смещается в сторону, и возникает направленное течение газа перпендикулярно к оси вращения колеса
4. Все ответы верны

44) Для регулирования подачи поршневого компрессора как типичного представителя объемных машин используют:
1. периодическое отключение привода компрессора. Этот способ реализуют при наличии на линии нагнетания газонакопительной емкости (ресивера), обычно для машин малой производительности с воздушным охлаждением
2. изменение частоты двойных ходов поршня n (допустимо в ограниченных пределах, не приводящих к существенному нарушению динамической балансировки машины)
3. увеличение объема мертвого пространства путем подключения к рабочей камере машины одного или нескольких баллончиков (приводит к снижению производительности компрессора)
4. байпасирование — перепуск части газа на линию всасывания (для воздуха возможен сброс в атмосферу)
5. все ответы верны

45) Струйными аппаратами называют…
1. Устройства, в которых путем непосредственного контакта (смешения) осуществляется процесс передачи потенциальной энергии одного потока другому
2. Устройства, в которых путем непосредственного контакта (смешения) осуществляется процесс передачи кинетической энергии одного потока другому
3. Устройства, в которых путем непосредственного контакта (смешения) осуществляется процесс обмена кинетической энергии и потенциальной одного потока другому
4. Устройства с центробежным смещенным центром

46) Струйные аппараты используются в качестве:
1. паровоздушного эжектора для обеспечения высокого вакуума, в том числе в конденсационных установках паровых турбин ТЭС и АЭС
2. газового эжектора для повышения эффективности эксплуатации систем нефтегазосбора
3. паровоздушного дутьевого инжектора в котельных установках
4. диспергатора в системах жидкость—жидкость
5. все ответы верны

47) Аппараты, в которых степень расширения может быть, как сверхкритической, так и докритической называют
1. конфузорами
2. струйными
3. инжекторами
4. диффузорами

48) Газотурбинная установка (ГТУ) — это?
1. энергетическая установка, конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газовоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств
2. турбинная теплосиловая установка, рассчитанная на совместное использование в тепловом цикле 2 рабочих тел — водяного пара и газообразных продуктов сгорания топлива

3. это непрерывно действующий тепловой агрегат, рабочим телом которого является вода и водяной пар.
4. электрогенерирующая станция, служащая для производства электроэнергии

49) Парогазотурбинная установка – это?
1. энергетическая установка, конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газовоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств
2. турбинная теплосиловая установка, рассчитанная на совместное использование в тепловом цикле 2 рабочих тел — водяного пара и газообразных продуктов сгорания топлива
3. это непрерывно действующий тепловой агрегат, рабочим телом которого является вода и водяной пар.
4. электрогенерирующая станция, служащая для производства электроэнергии

50) Электрический КПД современных газотурбинных установок составляет
1. 53 - 59%
2. 13 - 19%
3. 93 - 99%
4. 33 - 39%

51) Газотурбинные установки имеют незначительные вибрации и шумы в пределах:
1. 55–75 дБ
2. 65–75 дБ
3. 65–85 дБ
4. 65–67 дБ

52) ГТУ имеют ряд преимуществ перед паросиловыми установками:
1. низкие капиталовложения
2. короткое время запуска и выхода на режим нагрузки
3. компактность установки на 1 кВт установленной мощности
4. все ответы верны

53) Энергетические ГТУ снабжены блочными системами, которые обслуживают их и являются частью всей установки. Какими системами?
1. Система топливоподачи ГТУ, система маслоснабжеиия ГТУ
2. Комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ) ГТУ
3. Система управления входным направляющим аппаратом (ВНА) компрессора
4. все ответы верны

54) К газообразному топливу относятся:
1. природный газ
2. воздух
3. пыль
4. гелий

55) Температура сжигаемого газа в ГТУ должна быть
1. 12-18 °С
2. 13-15 °С
3. 12-15 °С
4. 10-15 °С

56) К чему приводит загрязнение в топливе:
1. к образованию коррозии
2. быстрому сжиганию топлива
3. медленному разжиганию топлива
4. загрязнению дымохода

57) В зависимости от типа струи различают жидкостно-газовые аппараты…
1. с компактной струей и диспергированной струей
2. только с диспергированной струей
3. только с компактной струей
4. нет правильного ответа

58) Парогазовые установки – это?
1. тип генерирующих станций, работающих на газе или на жидком топливе
2. тип генерирующих станций, работающих на жидком топливе
3. сравнительно новый тип генерирующих станций, работающих на газе
4. тип генерирующих станций, работающих на твердом топливе

59) Парогазовая установка состоит из:
1. газотурбинной (ГТУ) установки и приводов
2. газотурбинной (ГТУ) и паросиловой (ПС) установок
3. приводов и паросиловой (ПС) установок
4. только из приводов

60) В первом, газотурбинном, цикле КПД:
1. превышает 38%
2. превышает 48%
3. превышает 25%
4. превышает 45%4. от 10 кВ до 40 кВ.

Примерный перечень задач для семинарских занятий

Задача 1. Рассчитать центробежный (радиальный) или осевой вентилятор в зависимости от полученного коэффициента быстроходности, вычертить в масштабе его аэродинамическую схему и параллелограмм скоростей на выходе и входе рабочего колеса.

Исходные данные: производительность L=1,4 /с; давление Р=1009 Па = 102,9 кгс/м^2; частота вращения n=909 об/мин; плотность =1,2 Д кг/м^3.

Величина полного и гидравлического к.п.д. вентилятора, коэффициент давления и закручивания задается на основании существующих экспериментальных данных, приведенных в литературе.

Задача 2. Исследование совместной параллельной и последовательной работы в общую сеть двух одинаковых вентиляторов.

Исходные данные:

Параметры	1	2	3	4	5	6	7
$L, м^3/ч$	10000	14000	18000	20000	25000	36000	35000
$P, Па$	850	800	800	810	780	500	360
η	0,6	0,69	0,75	0,77	0,79	0,74	0,6

Задача 3. Исходные данные: давление на выходе p_3=3,1 МПа; производительность компрессора V_1=200 м^3/ч; показатель политропы n=1,28.

В двухступенчатом двухцилиндровом ПК простого действия воздух сжимается от давления p_1=0,1 МПа при t=27°С до давления p_3 (согласно исходных данных). Степень повышения давления в обеих ступенях является одинаковой

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_2}$$

Стенки цилиндров первой ступени (ЦПС) и второй ступени (ЦВС) охлаждаются водой с одной интенсивностью, поэтому процессы сжатия в обеих ступенях происходят по политропе с одинаковым показателем n. После первой ступени в промежуточном охладителе воздух охлаждается при постоянном давлении p_2 до начальной температуры t_1. Производительность компрессора при параметрах на всасывании (p_1, t_1) равна V_1. Для рабочего тела (воздуха) следует принять, что температура воздуха на выходе из обеих ступеней одинакова ($T_2 = T_3$).

Схема двухступенчатого двухцилиндрового ПК простого действия: 1 - цилиндр первой ступени (низкого давления); 2 - промежуточный охладитель воздуха; 3 - цилиндр второй ступени (высокого давления); 4 - коленчатый вал; 5 - маховик; 6 - штоки; 7 - шатуны; 8 – поршни.

Требуется определить:

1. Давление воздуха после первой ступени p_2.
2. Температуру в конце сжатия в каждой ступени T_2 и T_3.
3. Объемный расход сжатого воздуха после первой ступени V_2 и после второй ступени V_3.
4. Производительность компрессора по массе сжатого воздуха G.
5. Изменение внутренней энергии ΔU и энтальпии Δh каждой ступени.
6. Количество теплоты, отводимое водой от воздуха при сжатии в каждой ступени q, а также в промежуточном охладителе q^1 и, соответственно, расход охлаждающей воды на цилиндры G_{w1} и промежуточный охладитель G_w полагая, что вода в них нагревается от t_{1w}=10 °С входе и до t_{2w}=20 °С на выходе.
7. Построить в pv-координатах по точкам графики процесса сжатия по политропе и изотерме для первой ступени с графическим изображением затрачиваемой технической работы.

8. Затрачиваемую техническую работу политропного lп и изотермического lи сжатия.

9. Теоретическую (Nи) и действительную (Nе) мощность, потребляемую компрессором, если его изотермический к.п.д. η_и=0,7.

10. Поверхность охлаждения промежуточного охладителя воздуха при противотоке, принимая коэффициент теплопередачи от воздуха к воде К=20 Вт/(м^2·К).