



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЭиАС
В.Р. Храмшин

10.02.2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ГАЗОТУРБИННЫЕ И ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

Направление подготовки (специальность)
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность (профиль/специализация) программы
Энергообеспечение предприятий

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
заочная

| | |
|---------------------|---|
| Институт/ факультет | Институт энергетики и автоматизированных систем |
| Кафедра | Теплотехнических и энергетических систем |
| Курс | 4 |

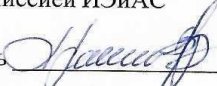
Магнитогорск
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143)


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Теплотехнических и энергетических систем
17.01.2023 г. протокол № 5

Зав. кафедрой  Е.Г. Нешпоренко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
10.02.2023 г. протокол № 7

Председатель  В.Р. Храмшин


Рабочая программа составлена:

профессор кафедры ТиЭС, д-р техн. наук  С.В. Картавец

Рецензент:

Зам. начальника ЦЭСТ ПАО "ММК",

канд. техн. наук

 В.Н. Михайловский

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Е.Г. Нешпоренко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Е.Г. Нешпоренко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Е.Г. Нешпоренко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Е.Г. Нешпоренко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Е.Г. Нешпоренко

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью дисциплины является изучение технологии производства электроэнергии и тепла на современных энергетических газотурбинных и парогазовых установках тепловых электростанций. По завершению освоения данной дисциплины студент способен и готов применять современные методы проектирования и эксплуатации газотурбинных и парогазовых установок, что позволит реализовать эффективные и экономичные технологии, обеспечивать высокие показатели надёжности и безопасности; определять технико-экономическую и энергосберегающую эффективность применяемых и вновь создаваемых газотурбинных и парогазовых установок.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Газотурбинные и парогазовые установки входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

- Паротурбинные установки
- Теплоэнергетические системы промышленных предприятий
- Технологические энергоносители предприятий
- Нагнетатели в теплоэнергетике
- Парогенераторы промышленных предприятий
- Техническая термодинамика
- Введение в направление

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

- Курсовая научно-исследовательская работа
- Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
- Тепловые электрические станции
- Энергетические станции промышленных предприятий
- Энергосбережение и вторичные энергоресурсы

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Газотурбинные и парогазовые установки» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции |
|----------------|---|
| ПК-1 | Способен участвовать в оценке технического состояния, поддержания и восстановления работоспособности тепломеханического оборудования промышленных ТЭС |
| ПК-1.1 | Оценивает уровень технических решений направленных на повышение эффективности работы тепломеханического оборудования |
| ПК-1.2 | Проводит учет и анализ технико-экономических показателей работы тепломеханического оборудования |

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 10,9 акад. часов;
- аудиторная – 8 акад. часов;
- внеаудиторная – 2,9 акад. часов;
- самостоятельная работа – 124,4 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 8,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

| Раздел/ тема дисциплины | Курс | Аудиторная контактная работа (в акад. часах) | | | Самостоятельная работа студента | Вид самостоятельной работы | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | Код компетенции |
|---|------|--|-----------|-------------|---------------------------------|--|---|-----------------|
| | | Лек. | лаб. зан. | практ. зан. | | | | |
| 1. 1. Принципиальные тепловые схемы ГТУ | | | | | | | | |
| 1.1 1.1 Тепловые схемы и термодинамические циклы ГТУ | 4 | 0,6 | | | 20 | | | ПК-1.2, ПК-1.1 |
| 1.2 1.2 Методика расчета опорных температур цикла ГТУ | | 0,6 | | 1 | 20 | Самостоятельное изучение литературы | Рубежный контроль | ПК-1.1, ПК-1.2 |
| 1.3 1.3 Энергетические характеристики циклов ГТУ | | 0,6 | | 1 | 20 | | Рубежные контроли | ПК-1.1, ПК-1.2 |
| 1.4 1.4 Способы повышения эффективности циклов ГТУ | | 0,6 | | | 20 | | Рубежный контроль | ПК-1.1, ПК-1.2 |
| Итого по разделу | | 2,4 | | 2 | 80 | | | |
| 2. 2. Конструктивные элементы ГТУ | | | | | | | | |
| 2.1 2.1 Осевые компрессоры ГТУ | 4 | 0,4 | | 1 | 20 | | Рубежный контроль | ПК-1.1, ПК-1.2 |
| 2.2 2.2 Камеры сгорания энергетических ГТУ | | 0,6 | | | 20 | Самостоятельное изучение по литературе | Рубежный контроль | ПК-1.1, ПК-1.2 |
| 2.3 2.3 Виды топлив, сжигаемых в ГТУ | | 0,6 | | 1 | 4,4 | Самостоятельное изучение по литературе | Рубежный контроль | ПК-1.1, ПК-1.2 |
| Итого по разделу | | 1,6 | | 2 | 44,4 | | | |
| Итого за семестр | | 4 | | 4 | 124,4 | | экзамен | |
| Итого по дисциплине | | 4 | | 4 | 124,4 | | экзамен | |

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины используются традиционная и модульно - компетентностная технологии. Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений происходит с использованием мультимедийного оборудования. При проведении практических занятиях используются работа в команде и методы ИТ. Самостоятельная работа стимулирует студентов в процессе подготовки домашних заданий, при решении задач на практических занятиях, при подготовке к контрольным работам и итоговой аттестации.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Салов, Н. Н. Гидродинамика и теплообмен в роторах и трансмиссиях газотурбинных двигателей. Уменьшение температурных напряжений в дисках: монография. — М. : Вузовский учебник ; ИНФРА-М, 2019. — 180 с. — (Научная книга). - ISBN 978-5-9558-0427-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1010035> (дата обращения: 18.10.2020).

2. Белкин, А. П. Диагностика теплоэнергетического оборудования : учебное пособие / А. П. Белкин, О. А. Степанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 240 с. — ISBN 978-5-8114-5326-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/139255> (дата обращения: 18.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Кирюхин, А. Л. Судовые газотурбинные установки : учебное пособие / А.Л. Кирюхин. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 256 с. — (Военное образование). - ISBN 978-5-16-015858-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1063609> (дата обращения: 18.10.2020). — Режим доступа: по подписке.

2. Бирюков, В. В. Энергетические аспекты функционирования транспортных систем / Бирюков В.В. - Новосибирск :НГТУ, 2014. - 264 с.: ISBN 978-5-7782-2538-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/556993> (дата обращения: 18.10.2020). — Режим доступа: по подписке.

3. Ушаков, В. Я. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК: Учебное пособие / Ушаков В.Я., Чубик П.С. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 388 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/701880> (дата обращения: 18.10.2020). — Режим доступа: по подписке.

в) Методические указания:

1. Картавцев С.В. История и современное состояние промышленной теплоэнергетики: методические указания для аспирантов специальности 05.14.04 Промышленная теплоэнергетика. – Магнитогорск, МГТУ, 2005. – 28 с.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

| Наименование ПО | № договора | Срок действия лицензии |
|--|-------------------------|------------------------|
| MS Office 2007 Professional | № 135 от 17.09.2007 | бессрочно |
| FlowVision | К-93-09 от 19.06.2009 | бессрочно |
| Comsol Multiphysics Academic Class | К-69-14 от 18.09.2014 | бессрочно |
| MathWorks MathLab v.2014 Classroom License | К-89-14 от 08.12.2014 | бессрочно |
| MathCAD v.15 Education University | Д-1662-13 от 22.11.2013 | бессрочно |
| Adobe Reader | свободно | бессрочно |

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса | Ссылка |
|---|---|
| Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного | URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp |
| Электронная база периодических изданий East View Information Services, | https://dlib.eastview.com/ |
| Поисковая система Академия Google (Google Scholar) | URL: https://scholar.google.ru/ |
| Информационная система - Единое окно доступа к информационным | URL: http://window.edu.ru/ |
| Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова | https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru |

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации. Учебные аудитории для проведения практических, лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Доска, мультимедийный проектор, экран. Учебные аудитории для выполнения курсового проектирования, помещения для самостоятельной работы обучающихся. Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступов в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень контрольных вопросов для подготовки к аттестации

1. Что определяет экономичность работы камеры сгорания ГТУ?
2. Перечислите факторы, позволяющие повысить надежность работы камеры сгорания ГТУ.
3. Почему в конструкциях ГТУ отдают предпочтение не выносным, а встроенным камерам сгорания ГТУ?
4. Как определяется избыток воздуха в камере сгорания ГТУ?
5. Почему с повышением начальной температуры газов газовой турбины происходит уменьшение избытка воздуха?
6. Почему в процессе работы меняется температура выходных газов газовой турбины?
7. Почему современные ГТУ оборудованы системой охлаждения горячих деталей газовой турбины?
8. Назовите типы систем охлаждения газовых турбин и применяемые охладители.
9. Объясните физический смысл интенсивности охлаждения.
10. Какие способы охлаждения лопаток применяются в современных газовых турбинах? Перечислите их конструктивные особенности.
11. Объясните назначение блочных систем топливоподачи и маслоснабжения ГТУ.
12. Расскажите об особенностях термодинамических циклов ГТУ.
13. Что определяет изменение термического КПД обратимого цикла Брайтона ГТУ?
14. От каких показателей энергетической ГТУ зависит увеличение полезной удельной работы цикла ГТУ?
15. Какое влияние оказывает температурный коэффициент на внутренний КПД реального цикла Брайтона?
16. Как изменяется отношение внутренней мощности газовой турбины ГТУ и потребляемой компрессором мощности с увеличением степени повышения давления воздуха?
17. Объясните физический смысл степени регенерации α в тепловой схеме ГТУ открытого цикла.
18. Назовите основные элементы конструктивной схемы осевого компрессора ГТУ.
19. Что определяет массовый расход воздуха через ступень осевого компрессора ГТУ?
20. Какой режим работы осевого компрессора называют расчетным?
21. Как влияет вид сжигаемого топлива на техническое обслуживание ГТУ?
22. Как изменяются параметры равновесного режима работы энергетической ГТУ при понижении температуры наружного воздуха?
23. Как изменяются параметры равновесного режима работы энергетической ГТУ с увеличением начальной температуры газов?
24. Перечислите и объясните ограничения возможных режимов работы энергетической ГТУ
25. Как и почему влияет изменение температуры, давления и влажности наружного воздуха на характеристики энергетической ГТУ?
26. Каковы способы стабилизации температуры воздуха на входе в компрессор ГТУ?
27. Почему впрыск воды (пара) оказывает влияние на характеристики ГТУ, где он осуществляется?
28. По какому признаку разделяют энергетические ГТУ по поколениям?
29. Перечислите особенности российских энергетических ГТУ, выполненных на базе авиационных и судовых газотурбинных двигателей.
30. Какую концепцию изготовления имеют энергетические ГТУ фирмы Siemens?
31. Объясните понятие «степень бинарности ПГУ с КУ».
32. Почему переход в ПГУ от одноконтурного к двухконтурному паровому циклу повышает ее экономичность?

33. Как и почему влияет увеличение начальной температуры газов ГТУ на показатели экономичности ПГУ с КУ?
34. Как формируются поверхности нагрева КУ и чем объясняются их особенности?
35. Что ограничивает температуру конденсата на входе в КУ?
36. Что определяет специфику конструктивной схемы газовых турбин ПГУ с КУ?
37. Какое влияние оказывают температурные напоры на холодном конце испарителей в КУ на показатели ПГУ?
38. Объясните причины применения дожигания топлива в КУ и его влияние на показатели ПГУ.
39. Почему применяют промежуточный перегрев пара в тепловой схеме парового цикла ПГУ с КУ?
40. Какие способы используются для регулирования электрической нагрузки ПГУ с КУ?
41. Почему на ПГУ с КУ часто применяют воздушные конденсаторы пара паровых турбин?
42. Объясните особенности различных групп тепловых схем ПГУ-ТЭЦ.
43. Чем объясняется необходимость применения дожимных топливных компрессоров на ГТУ-ТЭЦ и ПГУ-ТЭЦ?
44. Как и почему используется дожигание топлива в КУ ПГУ-ТЭЦ? Как оно влияет на показатели тепловой экономичности ТЭЦ?
45. Чем различаются тепловые схемы отопительных и промышленных ГТУ-ТЭЦ?
46. Каковы технические решения регулирования отпуска теплоты на ГТУ-ТЭЦ и их преимущества?
47. Перечислите особенности энергетического модуля «ГТУ—КУ» в тепловых схемах
48. ПГУ с параллельной схемой работы и предъявляемые к ним требования.
49. Перечислите особенности ПГУ с внутрицикловой газификацией угля.
50. Перечислите особенности ПГУ с циркулирующим кипящим слоем под давлением.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|---|--|--|
| ПК-1 Способен участвовать в оценке технического состояния, поддержания и восстановления работоспособности тепломеханического оборудования промышленных ТЭС | | |
| ПК-1.1 | Оценивает уровень технических решений направленных на повышение эффективности работы тепломеханического оборудования | <p>Примерное практическое задание к аттестации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рассчитать значения внутреннего КПД теоретического цикла газотурбинной установки с изобарным подводом тепла (без регенерации) с целью оценки влияния температуры газов перед турбиной на внутренний КПД ГТУ, для двух случаев : 1) при температуре газов перед турбиной $t_3=600^{\circ}\text{C}$. при температуре газов перед турбиной $t_3=800^{\circ}\text{C}$. остальные параметры принять следующие: начальная температура рабочего тела $t_1=20^{\circ}\text{C}$ степень повышения давления $\beta=7$ внутренний КПД компрессора и турбины $\eta_c = \eta_t = 0,85$ Принять показатель адиабаты равным $\kappa=1,4$. Теплоемкость считать постоянной. 2. Для цикла состоящего из процессов 1-2 при $T=\text{const}$ (изотерма); 2-3 при $V=\text{const}$ (изохора); 3-4 при $T=\text{const}$ (изотерма); 4-1 при $V=\text{const}$ (изохора), требуется: Рассчитать давление, удельный объем, температуру для основных точек цикла. Для каждого из процессов определить значения показателей политропы, теплоемкости, вычислить изменение внутренней энергии, энтальпии, теплоту и работу процесса. Определить суммарные количества подведенной и отведенной теплоты, работу цикла и термической КПД. Построить цикл PV и TS на диаграммах состояния. Принять газовую постоянную воздуха $R=287 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$; $p_1=0,3 \text{ МПа}$, $T_1=300 \text{ К}$, $p_2=0,8 \text{ МПа}$, $T_3=473 \text{ К}$ |
| ПК-1.2 | Проводит учет и анализ технико-экономических показателей работы тепломеханического оборудования | <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить: Параметры точек идеального цикла ГТУ, термический кпд, мощность турбины и компрессора; Параметры всех точек действительного цикла ГТУ, приняв внутренние кпд турбины и компрессора соответственно : $\eta_{it}= 0,87$; $\eta_{ic}=0,85$. Начальные параметры воздуха, поступающего в компрессор ГТУ, работающего при $p=\text{const}$, составляют: $p_1=0,1 \text{ МПа}$; $t_1=20^{\circ}\text{C}$. Степень повышения давления в |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|----------------|----------------------------------|---|
| | | <p>компрессоре ГТУ – $\beta=6$, температура газов перед соплами турбины – $t_3=700^\circ\text{C}$. Рабочее тело обладает свойствами воздуха, теплоемкость рассчитывать по молекулярно-кинетической теории. Расход воздуха $G=2\cdot 10^5$ кг/ч.</p> <p>2. Рассчитать значения внутреннего КПД теоретического цикла газотурбинной установки с изобарным подводом тепла (без регенерации) с целью оценки влияния температуры газов перед турбиной на внутренний КПД ГТУ, для двух случаев: при температуре газов перед турбиной $t_3=600^\circ\text{C}$; при температуре газов перед турбиной $t_3=800^\circ\text{C}$. Остальные параметры принять следующие: начальная температура рабочего тела $t_1=20^\circ\text{C}$, степень повышения давления $\beta=7$, внутренний КПД компрессора и турбины $\eta_t = \eta_k = 0,85$. Принять показатель адиабаты равным $\kappa=1,4$. Теплоемкость считать постоянной.</p> |

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания.

Критерии оценки (в соответствии с формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения):

– на оценку «отлично» – студент должен показать базовые знания по изучаемой дисциплине на уровне воспроизведения и объяснения информации, показать интеллектуальные навыки решения простых задач, свободное владение и понимание материала в пределах экзаменационного билета, а также углубленные знания по изучаемой дисциплине, в ходе ответов на дополнительные вопросы;

на оценку «хорошо» – студент должен показать базовые знания по изучаемой дисциплине на уровне воспроизведения и объяснения информации, показать интеллектуальные навыки решения простых задач, свободное владение и понимание материала в пределах экзаменационного билета;

– на оценку «удовлетворительно» – студент должен показать базовые знания по изучаемой дисциплине на уровне воспроизведения и объяснения информации, показать интеллектуальные навыки решения простых задач;

– на оценку «неудовлетворительно» – студент не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.