

## АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«Термодинамические процессы газотурбинных установок и их регулирование»

Дисциплина «Термодинамические процессы газотурбинных установок и их регулирование» является частью программы магистратуры «Газотурбинные и паротурбинные установки и двигатели» по направлению «13.04.03 Энергетическое машиностроение».

### **Цели и задачи дисциплины**

Целью дисциплины является формирование профессиональных компетенций, связанных с разработкой термодинамических процессов, протекающих в ГТУ, со способами их регулирования при переменном режиме работы, с их тепловыми схемами и циклами; формирование научно-технического мировоззрения на основе знания особенностей сложных технических систем; воспитание навыков технической культуры. Задачи дисциплины: - ознакомление с современными методологиями проектирования и расчёта ГТУ, со способами их регулирования при переменном режиме работы; - изучение тепловых схем, рабочего процесса и термодинамических циклов ГТУ; - формирование навыков оптимизации параметров циклов ГТУ и определение их термодинамической эффективности при стационарном и переменном режиме работы..

### **Изучаемые объекты дисциплины**

- ГТУ различных тепловых схем; - методы термодинамического анализа и оптимизации процессов в ГТУ; - способы повышения энергетической эффективности ГТУ; - способы регулирования ГТУ при переменном режиме их работы; - методология проектирования газотурбинных установок..

### Объем и виды учебной работы

| Вид учебной работы   | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |     |
|--|-------------|------------------------------------|-----|
|  |             | Номер семестра                     |     |
|  |             | 1                                  | 2   |
| 1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: | 90          | 45                                 | 45  |
| 1.1. Контактная аудиторная работа, из них:   |             |                                    |     |
| - лекции (Л)   | 32          | 18                                 | 14  |
| - лабораторные работы (ЛР)   | 36          | 9                                  | 27  |
| - практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)        | 16          | 16                                 |     |
| - контроль самостоятельной работы (КСР)  | 6           | 2                                  | 4   |
| - контрольная работа   |             |                                    |     |
| 1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)  | 126         | 63                                 | 63  |
| 2. Промежуточная аттестация  |             |                                    |     |
| Экзамен  | 36          |                                    | 36  |
| Дифференцированный зачет   |             |                                    |     |
| Зачет  | 9           | 9                                  |     |
| Курсовой проект (КП)   |             |                                    |     |
| Курсовая работа (КР)   | 18          |                                    | 18  |
| Общая трудоемкость дисциплины  | 252         | 108                                | 144 |

### Краткое содержание дисциплины

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| 1-й семестр  |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| Применение сложных тепловых схем ГТУ   | 12  | 6  | 10 | 40   |
| <p>Тема 3. Цикл ГТУ с регенерацией теплоты<br/> Схема ГТУ с регенератором. Идеальный цикл. Параметры цикла. КПД. Температурные напоры по горячему и холодному сечениям теплообменника. Степень регенерации тепла ? р. Идеальная регенерация тепла. Термический КПД регенеративного цикла. Анализ идеального регенеративного цикла. Сравнение его с циклом Брайтона. Реальный цикл с регенерацией тепла. Сравнение его с реальным циклом Брайтона. Потери давления рабочего тела в регенераторе. Преимущества и недостатки регенеративной схемы.</p> <p>Тема 4. Цикл ГТУ с промежуточным охлаждением в процессе сжатия<br/> Схема ГТУ с промежуточным охлаждением (ГТУ ПО) между компрессорами низкого и высокого давления (КНД и КВД). Воздухоохладитель (ВО). Основная идея промежуточного охлаждения. Идеальный цикл. Работа цикла. Термический КПД цикла. Оптимальные значения степеней сжатия в КНД и КВД. Анализ идеального цикла. Сравнение его с циклом Брайтона. Оптимальный идеальный цикл с изотермическим сжатием. Максимальная работа и КПД этого цикла. Сравнение его с циклом Брайтона и с одним промежуточным охлаждением.</p> <p>Тема 5. Цикл ГТУ с промежуточным теплоподводом в процессе расширения<br/> Схема ГТУ с промежуточным теплоподводом (ГТУ ТП) между турбинами высокого и низкого давления (ТВД и ТНД). Основная идея промежуточного теплоподвода. Идеальный цикл. Работа цикла. Термический КПД цикла. Анализ идеального цикла. Оптимальные значения степеней расширения в ТВД и ТНД. Сравнение циклов с промежуточным теплоподводом, с промежуточным охлаждением и Брайтона. Оптимальный идеальный цикл с изотермическим расширением. Максимальная работа и КПД этого цикла. Сравнение его с циклом Брайтона, с одним промежуточным теплоподводом и изотермическим сжатием.</p> |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| Тема 6. Циклы сложных тепловых схем ГТУ<br>Возможные тепловые схемы ГТУ. Наиболее применяемые в настоящее время схемы. Цикл с многократным и промежуточным охлаждением и теплоподводом, близкий к циклу Карно (в координатах T, S). Цикл с многократным и промежуточным охлаждением и теплоподводом, и с регенерацией теплоты, близкий к циклу Карно (в координатах T, S).<br>Преимущества и недостатки сложных тепловых схем.   |   |    |    |  |
| Основы термодинамики. Цикл ГТУ простейшей тепловой схемы   | 6   | 3  | 6  | 23   |
| Введение<br>Основные задачи дисциплины «Термодинамические процессы газотурбинных установок и их регулирование». Состав дисциплины. Связь с другими дисциплинами. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.<br>Тема 1. Термодинамические параметры и процессы<br>Параметры состояния: температура, давление, удельный объем, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия. Теплота, работа. Первый закон термодинамики. Изопараметрические процессы: изохорный, изобарный, изотермный, изоэнтропный (адиабатный).<br>Термодинамические циклы. Коэффициент полезного действия (КПД) цикла. Цикл Карно. Классификация ГТУ по сложности термодинамического цикла: простые (по циклу Брайтона), регенеративные, карнотизированные. Совершенствование ГТУ. Два направления повышения их термодинамической эффективности: увеличение максимальной температуры цикла и применение сложных тепловых схем.<br>Тема 2. Рабочий процесс и цикл ГТУ простейшей тепловой схемы<br>Схема простейшей ГТУ и её термодинамический цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтона). Идеальные циклы с адиабатными и изотермными процессами сжатия. Параметры цикла: удельная работа, КПД. |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| Реальные циклы. Расчёт процессов с реальным рабочим телом. Учёт зависимости свойств газа от температуры и давления. Учёт неадиабатичности процессов при сжатии и расширении. Параметры реального цикла: удельная работа, КПД. Оптимальные степени повышения давления (ОСПД).   |   |    |    |  |
| ИТОГО по 1-му семестру   | 18  | 9  | 16 | 63   |
| 2-й семестр  |   |    |    |  |
| ГТУ для газоперекачивающих компрессорных станций   | 6   | 10 | 0  | 30   |
| Тема 9. Основные характеристики и проблемы приводных ГТУ<br>Газоперекачивающие агрегаты (ГПА): нагнетатели газа и приводные ГТУ. Основные технические характеристики приводных ГТУ: мощность, начальная температура газа перед турбиной, степень повышения давления воздуха в компрессоре, эффективный КПД. Основные проблемы приводных ГТУ: топливная экономичность (повышение КПД), продление ресурса, повышение надёжности, модернизация.<br>Тема 10. Тепловые схемы ГТУ для ГПА<br>Работа ГПА на переменных режимах. Выбор тепловой схемы и параметров приводной ГТУ. Тепловые схемы ГТУ для ГПА: без теплообменника и с теплообменником (оптимальная степень регенерации). Введение промежуточного охлаждения воздуха при сжатии. Применение двухкаскадных компрессоров с приводом КНД и ТВД соответственно от ТНД и ТВД. |   |    |    |  |
| Регулирование режимов работы ГТУ   | 8   | 17 | 0  | 33   |
| Тема 7. Переменные режимы работы ГТУ<br>Расчётный и нерасчётный (переменный) режимы работы ГТУ. Статические характеристики ГТУ. Уравнение Флюгеля – Стодола. Зона допустимых режимов работы ГТУ. Способы регулирования ГТУ: количественный (изменение расхода) и качественный (изменение удельной полезной работы). Количественно-качественное регулирование мощности ГТУ. Применение входного направляющего аппарата (ВНА) и поворотного направляющего аппарата (ПНА) компрессора для изменения проходного сечения проточной части.   |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием  | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
|   | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| Тема 8. Стабилизация температуры воздуха<br>Стабилизация температуры воздуха, поступающего в компрессор: подогрев наружного воздуха (при отрицательных температурах), испарительное охлаждение или применение охладителей теплообменников (при больших положительных температурах). |   |    |    |  |
| ИТОГО по 2-му семестру  | 14  | 27 | 0  | 63   |
| ИТОГО по дисциплине   | 32  | 36 | 16 | 126  |