

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ПРОГРАММА  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Направление подготовки / специальность

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

---

Направленность (профиль) подготовки / специализация

13.03.01.30 Теплоэнергетика и теплотехника

---

Красноярск 2024

Разработчик(и):

д.т.н., профессор кафедры ТЭС \_\_\_\_\_



Е. А. Бойко

к.т.н., доцент кафедры ТЭС \_\_\_\_\_



П. В. Шишмарев

Программа принята на заседании кафедры «Тепловые электрические станции» Политехнического института

«10» апреля 2024 года, протокол № 4

## **1 Общая характеристика государственной итоговой аттестации**

1.1 Целью проведения государственной итоговой аттестации (далее – ГИА) является определение соответствия результатов освоения обучающимися образовательной программы высшего образования соответствующим требованиям федерального государственного стандарта по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника.

1.2 Основные задачи ГИА направлены на формирование и проверку освоения следующих компетенций:

### **универсальные компетенции (УК):**

УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

УК-3. Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде;

УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах);

УК-5. Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах;

УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни;

УК-7. Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности;

УК-8. Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов;

УК-9. Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности;

УК-10. Способен формировать нетерпимое отношение к проявлениям экстремизма, терроризма, коррупционному поведению и противодействовать им в профессиональной деятельности;

### **общепрофессиональные компетенции (ОПК):**

ОПК-1. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности;

ОПК-2. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения;

ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач;

ОПК-4. Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах;

ОПК-5. Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок;

ОПК-6. Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники;

### **профессиональные компетенции (ПК):**

ПК-1. Способность участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией;

ПК-2. Способность проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием;

ПК-3. Способность участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок энергообъектов и их элементов по стандартным методикам;

ПК-4. Способность разрабатывать схемы размещения ОПД в соответствии с технологией производства;

ПК-5. Способность организовывать ведение заданного режима работы тепломеханического оборудования;

ПК-6. Готовность обеспечивать экологическую безопасность ОПД и разрабатывать экозащитные мероприятия;

ПК-7. Готовность разрабатывать мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на ОПД;

ПК-8. Способность организовывать техническое обслуживание тепломеханического оборудования;

### 1.3 Формы ГИА

- государственный экзамен;
- подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы.

### 1.4 Объем государственной итоговой аттестации – 9 з.е., из них:

- государственный экзамен – 3 з.е.;
- подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы – 6 з.е.

## 2 Структура и содержание государственной итоговой аттестации

### 2.1 Государственный экзамен

2.1.1 Государственный экзамен проводится в письменной форме.

2.1.2 Содержание государственного экзамена:

Дисциплина (Модуль)	Перечень вопросов и заданий	Перечень компетенций, проверяемых вопросом / заданием по дисциплине (модулю)
Котельные установки	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Классификация и обозначение паровых котлов. Паровой котел – устройство. Котельная установка.</li><li>2. Основные конструктивные элементы парового котла. Особенности теплообмена в них.</li><li>3. Конструктивные отличия парового котла и водогрейного.</li><li>4. Топочные экраны котлов с естественной циркуляцией. Конструкция экранов.</li><li>5. Топочные экраны прямоточных котлов.</li><li>6. «Двусветный экран». Преимущества, в каких котлах его применяют?</li><li>7. Классификация пароперегревателей. Конструктивные типы пароперегревательных поверхностей. Их размещение. Обеспечение надежности работы?</li><li>8. Конструктивное отличие поверхностей первичного и промежуточного пароперегревателей. Почему промежуточный пароперегреватель размещают в газоходе после первичного?</li><li>9. Методы регулирования температуры первичного и вторичного перегрева пара (<math>t_0</math> и <math>t_{III}</math>).</li><li>10. Компоновка поверхностей нагрева парового котла.</li><li>11. Водяные экономайзеры. Преимущества мембранной поверхности нагрева.</li><li>12. Каркас и обмуровка парового котла.</li><li>13. Рекуперативные трубчатые воздухоподогреватели. Двухпоточный, двухступенчатый воздухоподогреватель.</li><li>14. Регенеративный воздухоподогреватель. Какие произойдут изменения в котле, если трубчатый ВЗП заменить на регенеративный?</li><li>15. Низкотемпературные поверхности котла. Компоновка. Методы повышения надежности.</li><li>16. Арматура и гарнитура котла.</li><li>17. Тепловая схема котла. Распределение тепловосприятости между поверхностями нагрева.</li><li>18. Методы уменьшения размеров конвективных поверхностей нагрева? В каких случаях возможно отступление от оптимального исполнения?</li><li>19. Распределение тепловосприятий между поверхностями барабанного и прямоточного котлов. В чем прин-</li></ol>	ПК-1; ПК-2; ПК-4; ПК-6

- ципиальное различие?
20. Чем определяется соотношение поверхностей (экономайзерных, испарительных, пароперегревательных) в пределах настенных экранов топки?
  21. Классификация паровых котлов по способу циркуляции. Движущий напор естественной циркуляции? Кратность циркуляции. Сохраняется ли циркуляция после прекращения горения топлива и почему?
  22. Элементы циркуляционного контура барабанного котла. Действительная скорость циркуляции. Чем обусловлено положение экономайзерной точки в контуре естественной циркуляции?
  23. Характеристики и режимы движения пароводяной смеси в вертикальных и горизонтальных трубах.
  24. Сравнить схемы прямоточного и барабанного котлов. Преимущества и недостатки, области использования по давлениям.
  25. Классификация энергетического топлива.
  26. Классификация твердых топлив. Классификация бурых и каменных углей.
  27. Элементный состав твердого органического топлива. Внутренний и внешний балласт топлива.
  28. Теплота сгорания топлива. Высшая и низшая теплота сгорания топлива.
  29. Что такое «условное топливо»? Зачем введено это понятие? Приведенные характеристики топлива.
  30. Технические характеристики твердого топлива. Зачем необходимо знать технические характеристики?
  31. Какое влияние оказывает на работу котла наличие в топливе влаги и серы?
  32. Зольность топлива. Плавкостные (температурные) характеристики золы. Влияние плавкостных характеристик золы на конструктивные и режимные параметры топочных камер.
  33. Какое влияние оказывают летучие вещества и влажность на горение твердого топлива?
  34. Влияние выхода летучих веществ на сгорание топлива в топке.
  35. Чем определяется реакционная способность топлива и почему? Оказывает ли влияние реакционность топлива на тонину помола в пылесистеме?
  36. Как изменяется теплота сгорания при переходе от твердого топлива к жидкому и природному газу. Почему?
  37. Расчетные массы топлива.
  38. Характеристики жидких топлив. Вязкость нефтепродуктов. Температура вспышки и воспламенения. Факторы, определяющие температуру вспышки и воспламенения.
  39. Характеристики газообразных топлив. Нижний и верхний предел воспламенения.
  40. Сравнить этапы сжигания твердого и жидкого топ-

лив. Почему мазутная капля сгорает быстрее твердой частицы топлива эквивалентного размера?

41. Чем определяется теоретически необходимое количество воздуха. Коэффициент избытка воздуха. Почему коэффициент избытка воздуха на выходе из топки не одинаков для разных видов топлива?

42. Теоретический и действительные объемы продуктов сгорания.

43. Теоретические и действительные энтальпии продуктов сгорания топлива.

44. Определение КПД котла по прямому и обратному балансу. Преимущества и недостатки?

45. Зависимость тепловых потерь и КПД котла коэффициента избытка воздуха и нагрузки котла.

46. КПД котла и котельной установки. Полный и расчетный расход топлива на котел.

47. Факторы, определяющие значение температуры уходящих газов.

48. Потери теплоты с химическим и механическим недожогом топлива.

49. Потери тепла в окружающую среду и с физическим теплом шлака.

50. Методы сжигания топлив. Различия, преимущества и недостатки.

51. Назначение топочного устройства. Характеристики камерных топок.

52. Чем определяются размеры топочной камеры?

53. Минимальный объем топки. Почему реальный объем топки больше минимального?

54. Камерные топки с твердым шлакоудалением.

55. Камерные топки с жидким шлакоудалением.

56. Котлы с твердым шлакоудалением и жидким шлакоудалением. Преимущества и недостатки.

57. Полезное тепловыделение в топке. Теоретическая температура горения. Возможна ли теоретическая температура горения в топке? Почему?

58. Теоретическая температура горения топлива. Факторы, определяющие ее величину?

59. Тепловосприятие топочных экранов и их компоновка. Методы повышения надежности. Конструкции топочных экранов.

60. Отличия конструкции топки для газа и мазута по сравнению с твердым топливом.

61. Горение жидкого топлива. Условия интенсификации сжигания мазута.

62. Топочные устройства для слоевого сжигания топлива.

63. Основные типы углеразмельных мельниц. Области применения.

64. Угольная пыль и ее характеристики. Коэффициент размолоспособности. Ситовый анализ. Показатели пыли  $R_x$  и  $Y$ . Чем определяется оптимальное значение раз-

	<p>мола топлива?</p> <p>65. Сушка топлива в процессе пылеприготовления. Выбор сушильного агента. Тепловой и воздушный баланс системы пылеприготовления.</p> <p>66. Классификация систем пылеприготовления. Схемы пылеприготовления с прямым вдуванием. Преимущества и недостатки.</p> <p>67. Классификация систем пылеприготовления. Схемы пылеприготовления с промежуточным бункером. Преимущества и недостатки.</p> <p>68. Элементы систем топливоподачи и пылеприготовления. Питатели сырого угля. Сепараторы пыли. Питатели пыли. Мигалки.</p> <p>69. Подготовка жидкого топлива к сжиганию.</p> <p>70. Какое различие условий сжигания топлива в прямой и вихревой струе?</p> <p>71. Подготовка газообразного топлива к сжиганию.</p> <p>72. Пылеугольные горелочные устройства. Классификация. Выбор и расчет горелочных устройств. Основные способы размещения горелок на стенках топочной камеры.</p> <p>73. Горение твердого топлива. Условия интенсификации сжигания пылевидных топлив.</p> <p>74. Горение газообразного топлива. Условия интенсификации сжигания газов.</p> <p>75. Чем вызвано ограничение использование рециркуляции газов в топку при сжигании твердых топлив? Имеется ли такое ограничение при сжигании газа и мазута?</p> <p>78. Горелочные устройства для сжигания газов и мазута. Размещение на стенках топочной камеры.</p> <p>79. Сепарация и промывка пара.</p> <p>80. Схемы ступенчатого испарения воды в барабанном котле. Как поддерживаются установленные нормы качества пара в барабанных и прямоточных котлах.</p> <p>81. Водно-химический режим паровых котлов.</p> <p>82. Баланс примесей. Водный режим барабанных котлов. Непрерывная и периодическая продувка паровых котлов.</p> <p>83. Способы организации работы газоздушного тракта котла. Выбор тягодутьевых механизмов. Какие тягодутьевые машины имеют больший расход энергии: дутьевые вентиляторы или дымососы? Почему?</p> <p>84. Цель, задачи и принцип теплового (поверочного и конструкторского), аэродинамического и гидравлического расчета котельного агрегата?</p> <p>85. Расчет балансового тепла и тепловосприятия поверхностей нагрева парового котла.</p> <p>86. Расчет теплообмена в топочной камере котла. Факторы, определяющие излучение факела и тепловосприятие топочных экранов.</p> <p>87. Коррозия и эрозия поверхностей нагрева котла.</p>	
--	---	--

	<p>88. Шлакование и наружные загрязнения поверхностей нагрева. Очистка поверхностей нагрева от наружных загрязнений.</p> <p>89. Технологические схемы золошлакоудаления и конструкция их элементов.</p> <p>90. Металл и прочность элементов котла.</p>	
Тепловые двигатели	<p>1. Перечислите типы паровых турбин, укажите их назначение, отличительные особенности и обозначения. Перечислите стандартные сочетания параметров острого пара. Опишите влияние начальных и конечных параметров пара, промежуточного перегрева и регенеративного подогрева питательной воды на экономичность ПТУ.</p> <p>2. Изобразите принципиальную тепловую схему и термодинамический цикл ПТУ с промперегревом в T-S диаграмме. Опишите тепловые процессы, образующие цикл. Сформулируйте определения полезной работы цикла, затраченного в цикле тепла, КПД цикла. Перечислите способы повышения КПД цикла ПТУ.</p> <p>3. Изобразите принципиальную тепловую схему и термодинамический цикл ГТУ в T-S диаграмме с подводом тепла при постоянном давлении. Опишите назначение и работу основных элементов, тепловые процессы, образующие цикл. Сформулируйте определения полезной работы цикла, затраченного в цикле тепла, КПД цикла. Перечислите способы повышения КПД цикла ГТУ.</p> <p>4. Приведите и прокомментируйте уравнение состояния идеального газа, уравнение изоэнтропы, уравнение неразрывности и уравнение сохранения энергии. Покажите, как используются эти уравнения в расчетах проточной части турбин.</p> <p>5. Изобразите схематично проточную часть ступени, профили сопловых и рабочих лопаток. Перечислите все геометрические характеристики решеток. Сформулируйте определения степени реактивности, степени парциальности, угла атаки. Расшифруйте обозначения профилей С9012Б, Р6038А.</p> <p>6. Перечислите газодинамические и режимные характеристики решеток. Сформулируйте определения коэффициентов потерь, коэффициентов скорости, коэффициентов расхода, <math>(U/C_a)_{opt}</math>. Опишите порядок выбора профилей сопловых и рабочих лопаток при расчете ступени.</p> <p>7. Изобразите схематично процессы расширения ступени в I-S диаграмме с учетом потерь при степени реактивности <math>\rho_T = 0</math> и <math>\rho_T = 0,2</math> и прокомментируйте их. Сформулируйте определения степени реактивности, степени парциальности, угла атаки.</p> <p>8. Изобразите треугольники скоростей ступени. Приведите формулы для определения всех элементов треугольников. Сформулируйте определение параметров торможения. Объясните, как выбираются профили для</p>	ПК-1; ПК-2; ПК-4

сопловых и рабочих лопаток.

9. Приведите и прокомментируйте формулы окружного и осевого усилий на рабочих лопатках, удельной мощности ступени. Объясните, за счет чего возникает окружное усилие в активной и реактивной ступенях.?

10. Перечислите потери, которые учитывает относительный внутренний КПД ступени  $\eta_{oi}$ . Приведите графическую зависимость КПД  $\eta_{oi}$  от отношения скоростей  $U/C_a$ . Объясните, как связан этот КПД с углом выхода из ступени  $\alpha_2$ . Определите оптимальное отношение  $(U/C_a)_{opt}$  для ступени, если степень реактивности  $\rho_T = 0.1$ ,  $\alpha_{1\phi} = 12^\circ$ ,  $\varphi = 0,96$ .

11. Изобразите схематично проточную часть и тепловой процесс двухвенечной ступени в I-S диаграмме. Опишите назначение её элементов. Прокомментируйте преимущества и недостатки двухвенечных ступеней. Объясните, с какой целью применяется парциальный подвод пара и как зависят от него напряжения в лопатках

12. Опишите механизм эрозии лопаток и потерь от влажности, перечислите способы их снижения в турбинах ТЭС и АЭС

13. Опишите кратко порядок теплового расчета ступени. Объясните, с какой целью используется парциальный подвод пара и какие потери при этом возникают. Как выбираются профили для сопловых и рабочих лопаток

14. Опишите, как и почему изменяется давление  $P_1$  в зазоре между сопловой и рабочей решетками по высоте ступени большой верности. Как это влияет на степень реактивности? Покажите это на процессе расширения ступени.

15. Изобразите треугольники скоростей для корневого и периферийного сечений ступени большой верности. Прокомментируйте изменение треугольников. Почему лопатки таких ступеней выполняют закрученными

16. Объясните, почему экономичность ступени большой верности с закрученными лопатками выше, чем с лопатками постоянного профиля.

17. Объясните, почему в ступенях большой верности изменяются треугольники скоростей от корневого сечения к периферийному. Перечислите основные законы закруток.

18. Перечислите преимущества многоступенчатых турбин. Чем отличаются конструкции роторов активных и реактивных турбин и почему? Объясните, чем объясняется явление возврата тепла в многоступенчатой турбине, от чего зависит коэффициент возврата тепла и как он влияет на КПД турбины

19. Изобразите схему лабиринтового уплотнения, тепловой процесс уплотнения в I-S диаграмме. Как можно снижать утечки через уплотнения. Каким требованиям

должны удовлетворять концевые уплотнения турбины? Изобразите принципиальную схему трубопроводов уплотняющего пара и прокомментируйте её.

20. Перечислите основные составляющие осевого усилия на ротор турбины. Объясните, как влияет степень реактивности ступеней на величину осевого усилия. Какими мерами снижают осевое усилие? Почему в реактивных турбинах применяются барабанные роторы, а не дисковые

21. Сформулируйте определение предельной мощности. Перечислите и прокомментируйте способы повышения предельной мощности.

22. Объясните, почему увеличение выходной скорости за турбиной позволяет повысить предельную мощность. Как это влияет на КПД турбины

23. Объясните, почему паровые турбины большой мощности имеют несколько двухпоточных ЦНД

24. Объясните, почему применение титановых сплавов для рабочих лопаток ЦНД позволяет увеличить предельную мощность турбины.

25. Объясните, почему снижение частоты вращения турбины позволяет увеличить предельную мощность.

26. Изобразите эскизно ступень Баумана, опишите ее принцип действия. С какой целью используют ступень Баумана в ЦНД?

27. Объясните, почему ухудшение вакуума позволяет повысить предельную мощность турбины. Как это влияет на КПД?

28. Опишите кратко порядок предварительного расчета многоступенчатой турбины, определения числа ступеней. Укажите достоинства и недостатки двухвенечных регулирующих ступеней.

29. Перечислите основные особенности турбин АЭС. Объясните, почему их нередко проектируют с пониженной частотой вращения  $n = 25$  1/с.

30. Изобразите и прокомментируйте графическую зависимость расхода пара от давлений перед и за сопловой решеткой  $P_1$  и  $P_2$  (сетку расходов). Приведите и прокомментируйте аналитические и графические зависимости степени реактивности и КПД от отношения  $U/C_a$  и теплоперепада ступени.

31. Опишите особенности работы последней ступени конденсационной турбины при изменении объемного расхода  $GV_2$ .

32. Оцените изменение степени реактивности и КПД ступени, если при расчетном режиме  $\rho_{то} = 0,15$ ,  $(U/C_a)_{opt} = 0,5$ , а при новом режиме  $(U/C_a)_1 = 0,6$ .

33. Объясните, как изменяются давления, теплоперепады и КПД регулирующей, последней и промежуточных ступеней турбины при изменении расхода пар

34. Изобразите схему дроссельного парораспределения, укажите его особенности, достоинства и недостатки.

Изобразите тепловой процесс турбины с дроссельным парораспределением. Объясните, почему в турбинах с противодавлением не применяется дроссельное парораспределение.

35. Изобразите схему соплового парораспределения, укажите его особенности, достоинства и недостатки. Изобразите тепловой процесс турбины с сопловым парораспределением. Приведите и прокомментируйте графики распределения расходов и давлений пара по группам сопл регулирующей ступени

36. Объясните, в каком случае в камеру регулирующей ступени поступают потоки пара с различными параметрами. Как определяется средняя энтальпия пара в камере? При каком режиме работы и почему в рабочих лопатках регулирующей ступени возникают наибольшие изгибающие напряжения?

37. Изобразите схему обводного парораспределения, укажите его особенности, область применения. Приведите и прокомментируйте график распределения расходов пара по клапанам.

38. Опишите особенности регулирования мощности методом скользящего давления. Каковы преимущества этого метода?

39. Объясните, почему при аварийном разлопачивании дисков промежуточных ступеней не рекомендуется удалять их диафрагмы. Почему при отключении регенеративных подогревателей приходится снижать нагрузку турбины, то есть расход пара? Как изменяется осевое усилие в турбине при изменении расхода пара?

40. Объясните, как влияет повышение и понижение начальных параметров  $P_0$  и  $t_0$  на мощность, экономичность и надежность турбин.

41. Объясните, как зависит мощность турбины от конечного давления  $P_k$ . Сформулируйте определения предельного и экономического вакуума.

42. Расход пара через группу ступеней при номинальном режиме  $G_{00} = 125$  кг/с, давление перед ней  $P_{00} = 90$  бар, за ней  $P_{20} = 30$  бар. Определите новый расход пара  $G_{01}$ , если давление перед и за группой ступеней уменьшилось на 10 бар при неизменных температурах.

43. Прокомментируйте инженерные аспекты организации нерегулируемого отбора пара при реконструкции конденсационной турбины.

44. Прокомментируйте инженерные аспекты перевода конденсационной турбины на ухудшенный вакуум.

45. Опишите особенности конструкции корпусов ЦВД и ЦНД. Каковы преимущества двойных корпусов ЦВД? Как организуются тепловые расширения корпусов одно- и многоцилиндровых турбин? Температуру каких участков корпуса необходимо строго контролировать в процессе пуска и нагружения? С какой целью организуется обогрев фланцев и шпилек?

46. Опишите конструкции насадных, цельнокованых и сварных роторов. Укажите области их применения. Каково назначение центрального сверления в цельнокованом роторе? Опишите способы установки дисков на валу, типы применяемых шпонок. Сформулируйте определение освобождающего числа оборотов.

47. Изложите порядок определения основных составляющих осевого усилия на ротор турбины. Какие способы снижения осевого усилия на упорный подшипник турбины вам известны? Объясните, почему в реактивных турбинах применяются не дисковые роторы, как в активных, а барабанные?

48. Объясните, какие силы действуют на рабочие лопатки и диафрагмы, и какие напряжения создают. Как зависят эти напряжения от степени реактивности, от высоты лопаток? Чем ограничивается минимальная и максимальная высота лопаток? Какие типы бандажей вы знаете и каково их назначение?

49. Изобразите эскизы, опишите конструкции и принцип действия опорных и упорных подшипников турбины. Какова роль баббитовой заливки в опорном и упорном подшипниках? В каких случаях применяется гидродъем роторов?

50. Изобразите принципиальную схему сервомоторного регулирования конденсационной турбины, опишите ее работу и назначение элементов.

51. Изобразите принципиальную схему регулирования турбины с противодавлением, опишите ее работу и назначение элементов. Для чего служит РОУ?

52. Изобразите принципиальную схему регулирования турбины с одним регулируемым отбором, опишите ее работу и назначение элементов.

53. Изобразите статическую характеристику регулирования турбины по скорости. Сформулируйте определение степени неравномерности и нечувствительности. Определите степень неравномерности регулирования при  $n_0 = 50$  1/с, если частота вращения на холостом ходу 51 1/с, а при максимальной нагрузке - 49 1/с.

54. Опишите назначение и принцип действия механизма управления турбиной (синхронизатора). Как он воздействует на статическую характеристику при изменении нагрузки? °

55. Изобразите принципиальную схему регулирования турбины с регулятором скорости ЛМЗ, опишите ее работу и назначение элементов.

56. Изобразите принципиальную схему гидродинамического регулирования с насосом-импеллером, опишите ее работу и назначение элементов.

57. Перечислите основные типы автоматической системы защиты и опишите принцип действия каждого.

58. Изобразите принципиальную схему маслоснабжения турбины К-200-130. Опишите назначение ее элементов,

	<p>работу схемы.</p> <p>59. Изобразите схему конденсационной установки, эскиз конденсатора. Укажите назначение элементов. Опишите процесс образования вакуума в конденсаторе. Перечислите причины и отрицательные последствия переохлаждения конденсата, способы его снижения. Опишите принцип деаэрации и регенеративного подогрева в конденсаторах. Каково назначение встроенного пучка в конденсаторах Т-турбин?</p> <p>60. Опишите кратко порядок теплового расчета конденсатора и порядок построения характеристики <math>P_k = f(G_k/F_k, t_{1B})</math>. Изобразите схемы одно- и двухступенчатых эжекторов, опишите их назначение, принцип действия.</p>	
<p>Тепловые и промышленные электрические станции</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технологическая схема ТЭС. Назначение элементов. Какие преобразования энергии происходят на тракте котлоагрегат-турбина-электрический генератор. Требования, предъявляемые к ТЭС.</li> <li>2. Классификация ТЭС.</li> <li>3. Изменяется ли нагрузка ТЭС в течение дня, суток, года? Почему? Графики электрической и тепловой нагрузок (суточный, квартальный, годовой). Определение количества выработанной электрической энергии и тепла за сутки, квартал, год. Показатели режима работы ТЭС (<math>W_{cp}, K_{max}, K_{уст}, T_{max}, T_{уст}</math>).</li> <li>4. Определение технико-экономических показателей конденсационной электростанции: КПД, полного и удельного расхода топлива, тепла, пара.</li> <li>5. Промежуточный перегрев пара на современных блоках. Выгодность промперегрева. Выбор оптимального давления промперегрева.</li> <li>6. Современные методы расчета полного и удельного расходов топлива на ТЭС. Понятия коэффициента ценности тепла.</li> <li>7. Сравнение комбинированного и отдельного способов производства электроэнергии и тепла по расходу тепла и топлива.</li> <li>8. Влияние начальных и конечных параметров на экономичность работы ТЭС; Расширение действующей ТЭС установками высокого давления. Пристройка и надстройка ТЭС.</li> <li>9. Регенеративный подогрев питательной воды и конденсата на ТЭС. Общие положения. Энергетическая эффективность регенеративного подогрева. Покажите, как изменится КПД цикла при использовании регенерации.</li> <li>10. Как определяется наиболее выгодное число регенеративных отборов при многоступенчатой регенерации и как распределяется подогрев по ступеням?</li> <li>11. Какие типы подогревателей используются для регенеративного подогрева их достоинства и недостатки.</li> <li>12. Конструктивное исполнение подогревателей смешивающего и поверхностного типа с охладителями пара и</li> </ol>	<p>ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7</p>

дренажа.

13. Какие схемы отвода конденсата греющего пара из регенеративных подогревателей поверхностного типа применяют на современных ТЭС. Назначение встроенных выносных охладителей пара и дренажа. Расширительные бачки.

14. Тепловой расчет подогревателя поверхностного типа с охладителем пара и дренажа. Структурная схема подогревателя, изменение температур теплоносителя вдоль поверхностей теплообмена.

15. Определение расходов пара и тепла на ТЭС с регенеративным подогревом питательной воды и конденсата. Как изменяются удельные расходы пара, тепла, топлива при использовании регенерации.

16. Достоинства и недостатки регенеративных подогревателей смешивающего типа. Возможные схемы включения ПНС. Конструирование ПНС. Расчет ПНС.

17. Классификация потерь пара и конденсата на ТЭС, мероприятия по их уменьшению. Влияют ли потери пара и конденсата на экономичность ТЭС? Каким образом? Простейшая тепловая схема ТЭС с потерями пара и конденсата. Балансовые уравнения для расхода пара и воды на ТЭС.

18. Испарительные установки. Назначение, тепловая схема испарительной установки, расчет, конструктивное исполнение.

19. Расчет вторичного давления пара испарительной установки.

20. Включение испарительных установок в тепловую схему КЭС и ТЭЦ. Достоинства и недостатки таких схем. Многоступенчатые испарительные установки.

21. Деаэраторы. Назначение и принцип действия, классификация, включение в тепловую схему, расчет. Факторы, влияющие на эффективность деаэрации.

22. Капельно-струйный деаэратор тарельчатого типа с внутренним обогревом. Конструктивное исполнение, принцип действия, тепловой расчет. Деаэраторы ЦКТН для крупных современных конденсационных блоков.

23. Бездеаэрационные тепловые схемы современных блоков. НКВР.

24. Зависит ли расход тепла на отопление от наружной температуры. Изобразите такую зависимость графически. Годовой график отпуска тепла по продолжительности. Базовая и пиковая тепловые нагрузки. Коэффициент теплофикации  $\alpha_{\text{тэц}}$ .

25. Включение установок по подогреву сетевой воды в тепловую схему ТЭЦ. Определение давления пара в регулируемом отборе на сетевой подогреватель. Устройство сетевых подогревателей.

26. Паропреобразователи. Назначение, принцип работы, конструкция включения в тепловую схему. Расчет. Достоинства и недостатки паропреобразовательных уста-

новок.

27. Питательные установки. Назначение, требования, привод питательных насосов, схемы включения. Регулирование подачи питательной воды. Определение напора питательного насоса.
28. Расширители непрерывной продувки, назначение, конструктивное исполнение, включение в тепловую схему, расчет.
29. РОУ. Назначение, конструктивное исполнение, тепловая схема РОУ, расчет.
30. Принципиальная тепловая схема ТЭС. Определение, состав.
31. Методика расчета принципиальной тепловой схемы. Аналого-энергетический метод оценки экономичности ТЭС.
32. Классификация ТЭС по технологической структуре. ТЭС блочного и неблочного типа. Достоинства ТЭС блочного типа.
33. Трубопроводы ТЭС. Общие сведения, классификация трубопроводов, определение условного диаметра трубопровода.
34. Схема главных паропроводов острого пара блочной и неблочной ТЭС. Паропроводы промежуточного перегрева. РОУ (пускосбросные, собственных нужд и др.).
35. Схемы питательных трубопроводов блочной и неблочной ТЭС. Назначение арматуры.
36. Конденсатопровод от конденсатора до деаэратора. Включение ПНД, конденсационных насосов, эжекторной установки. Назначение арматуры.
37. Гидравлический и механический расчет трубопровода.
38. Термическая деформация трубопроводов и их компенсация.
39. Выбор основного и вспомогательного оборудования при проектировании ТЭС.
40. Выбор площадки для сооружения ТЭЦ. Генплан. Требования генплана. Генплан ТЭС, работающей на твердом топливе.
41. Компоновка главного корпуса ТЭС. Типы компоновок, примеры. Компоновка главного корпуса газомазутных ТЭС.
42. Расход воды на ТЭС. Источники водоснабжения. Требования, предъявляемые к источникам водоснабжения.
43. Система водоснабжения. Прямоточная система водоснабжения. Схема, назначение элементов.
44. Обратная система водоснабжения. Охлаждающие устройства. Достоинства и недостатки градирь, прудовоохлаждающих устройств, брызгальных бассейнов.
45. Выбор способа подготовки добавочной воды.
46. МГД-генераторы, принцип работы, перспективы использования в энергетике. МГД-генераторы с паросило-

	выми установками. 47. Парогазовые ТЭС. Достоинства и недостатки, перспективы применения в энергетике. Классификация парогазовых установок. 48. Парогазовые установки с высоконапорным парогенератором, а также сбросом газов ГТУ в топку парового котла. 49. Газотурбинные ТЭС. Достоинства, недостатки, типы, тепловые схемы. 50. Атомные электростанции. Классификация, особенности, простейшие тепловые схемы современных АЭС.	
--	---	--

Практическая часть государственного экзамена включает междисциплинарную задачу, связанную с решением прикладного технического кейса, направленного на выполнение сопоставительного (сравнительного) технико-экономического анализа различных вариантов реконструкции (модернизации) технологической схемы и основного оборудования энергогенерирующего производства с выбором и проработкой наиболее оптимального варианта. В основу оптимальности решения задачи положены различные критерии эффективности: энергетической, экономической, технической, экологической, социальной.

### 2.1.3 Критерии оценивания

Результаты государственного экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Письменную работу проверяет комиссия.

Оценка	Критерии оценивания
Отлично	Оценку «отлично» заслуживает обучающийся, обнаруживший всесторонние, систематические и глубокие знания теоретического материала, в соответствии с требованиями профессиональной образовательной программы, выполнивший правильно практическую задачу. Допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправленные студентом.
Хорошо	Оценку «хорошо» заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание программного материала, умеющий пользоваться нормативной и справочной документацией, успешно выполнивший предусмотренные практические задания, допустивший неточности при выполнении практической задачи. Допускаются отдельные несущественные ошибки, исправленные студентом после указания на них.
Удовлетворительно	Оценку «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, обнаруживший неполные знания программного материала, но умеющий пользоваться нормативной и справочной документацией, допустивший ошибки в выполнении практической задачи. Допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя.
Неудовлетворительно	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, имеющему пробелы в знаниях программного материала по профессиональной образовательной программе, допустившему существенные ошибки в выполнении практических заданий или не выполнивший их.

Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение государственного аттестационного испытания.

## 2.1.4 Рекомендации для подготовки к государственному экзамену:

### 2.1.4.1 Рекомендуемая литература

1. Ляшков, В. И. Теоретические основы теплотехники / В. И. Ляшков. – 1. – М. : ООО "КУРС" ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2015. – 328 с.
2. Теплотехника : учебник для вузов / ред. В. Н. Луканин. – Изд. 6-е, стер. – М. : Высш. шк., 2008. – 671 с.
3. Лашутина, Н. Г. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики : учеб. пособие / Н. Г. Лашутина, О. Г. Макашова, Р. М. Медведев. – Ленинград : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. – 336 с.
4. Петухов, Б. С. Вопросы теплообмена. Избранные труды : сборник / Б. С. Петухов ; отв. ред. В. А. Кириллин ; Академия наук [АН] СССР. Отделение физико-технических проблем энергетики. – Москва : Наука, 1987. – 278 с.
5. Цветков, Федор Федотович. Тепломассообмен : учеб. пособие для студентов вузов / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – 3-е изд., стер. – Москва : МЭИ, 2006. – 549 с.
6. Исаченко, В. П. Теплопередача. 4-е изд., перераб. и доп. / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергоиздат, 1981.
7. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, С. А. Михайленко. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
8. Липов, Ю. М. Котельные установки и парогенераторы / Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.
9. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб. : НПО ЦКТИ-ВТИ, 1998.
10. Костюк, А. Г. Турбины тепловых и атомных электрических станций / А. Г. Костюк, В. В. Фролов. – М. : МЭИ, 2001.
11. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций : учеб. пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов ; ред. С. В. Цанев. – М. : МЭИ, 2002. – 574 с.
12. Рихтер, Л. А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций / Л. А. Рихтер, Д. П. Елизаров, В. М. Лавыгин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.
13. Назмеев, Ю. Г. Теплообменные аппараты / Ю. Г. Назмеев, В. М. Лавыгин. – М. Энергоатомиздат, 1998.
14. Назмеев, Ю. Г. Системы топливоподачи и пылеприготовления / Ю. Г. Назмеев, Г. Р. Мингалеева. – М. : МЭИ, 2005.
15. Стерман, Л. С. Тепловые и атомные электрические станции [Текст] : учебник для студентов вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. - 5-е изд., стер. – Москва : МЭИ, 2010.
16. Теплоэнергетика и теплотехника : справочная сер. : в 4-х кн. / ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : МЭИ, 2000 – 2003. Кн. 3 : Тепловые и атомные электростанции : Справочник : [науч. изд.]. – 2003. - 648 с.

#### 2.1.4.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

<http://neurothermal.narod.ru>

<http://www.iapws.org>

<http://www.rosteplo.ru>

<http://www.thermophysics.ru>

<http://www.ieport.ru>

<http://03-ts.ru>

<http://tgv.khstu.ru>

<http://energetiki.net>

<http://teplota.org.ua>

<http://energsoft.info>

<http://www.wsp.ru>

<http://freesteam.org>

<http://exergy.narod.ru>

<http://fortraner.narod.ru>

<http://splitlog.narod.ru>

[http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU\\_Book\\_New/mas/index.html](http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/index.html)

#### 2.1.4.3 Дополнительные рекомендации

При подготовке к государственному экзамену рекомендуется использовать автоматизированные обучающие системы ([www.auk-energy.ru](http://www.auk-energy.ru), [www.auk.enek.ru](http://www.auk.enek.ru)), специализированное программное обеспечение ([www.enek.ru](http://www.enek.ru)) и дополнительное учебно-методическое обеспечение электронного ресурса «Курсы СФУ» (<https://e.sfu-kras.ru/course/index.php?categoryid=2428>).

## 2.2 Выпускная квалификационная работа

ВКР представляет собой выполненную обучающимся (несколькими обучающимися совместно) работу, демонстрирующую уровень подготовленности выпускника к самостоятельной профессиональной деятельности. ВКР может быть выполнена на иностранном языке.

2.2.1 ВКР выполняется в виде бакалаврской работы.

2.2.2 Примерный перечень тем ВКР

1. Проект теплогенерирующей установки на определенную электрическую и тепловую мощность с учетом места строительства, водо- и топливообеспечения, режимов работы и других условий.
2. Модернизация теплогенерирующей установки для повышения энергетической и экономической эффективности, экологической безопасности, надежности и прочих требований.
3. Реконструкция теплогенерирующей установки для повышения энергетической и экономической эффективности, экологической безопасно-

- сти, надежности и прочих требований.
4. Проведение расчетных и прикладных исследований теплоэнергетических процессов и оборудования
  5. Решения задачи оптимизации схем и состава оборудования теплогенерирующей установки и объектов ЖКХ.
  6. Разработка схемы теплоснабжения населенного пункта (города, поселка и т.п.)
  7. Повышение надежности и эффективности работы тепловых сетей и ее элементов
  8. Проект монтажа и ремонта теплоэнергетического оборудования
  9. Разработка инновационной технологии и устройства для производства, транспортировки и потребления различных видов энергии
  10. Разработка специализированного программного обеспечения для нужд теплоэнергетического комплекса

### 2.2.3 Порядок выполнения ВКР

Этапы выполнения ВКР: выбор темы и изучение литературы; разработка рабочего графика; сбор, анализ и обобщение материалов по избранной теме; формулирование основных методологических положений, и практических выводов; оформление выпускной работы; представление ВКР научному руководителю на рецензирование; нормоконтроль; защита ВКР.

Руководитель ВКР студента назначается приказом ректора университета по представлению выпускающей кафедры. В случае если ВКР носит междисциплинарный характер или связана с тематикой организации, где выполнялась работа студента, по отдельным разделам работы могут быть назначены консультанты.

Руководитель совместно со студентом разрабатывает задание на выполнение ВКР, составляет график выполнения работы, устанавливает объем разделов работы, проводит консультации, контролирует ход ее выполнения (с отметкой в графике).

При существенном отставании от намеченного графика выполнения ВКР и/или при неудовлетворительных результатах предварительной защиты ВКР студент по представлению кафедры может быть не допущен к защите ВКР и представлен в проект приказа на отчисление из университета.

После успешного прохождения государственной итоговой аттестации студенту присваивается академическая степень бакалавра.

### 2.2.4 Защита ВКР проводится в форме устной защиты с презентацией основных этапов и результатов работы с последующим ответом на вопросы государственной экзаменационной комиссии.

### 2.2.5 Критерии выставления оценок (соответствия уровня подготовки выпускника требованиям федерального государственного образовательного стандарта) на основе выполнения и защиты ВКР

При оценивании выпускной квалификационной работы во время защиты ее на заседание ГЭК принимается во внимание:

- уровень теоретической и практической подготовки обучающегося (средний балл за весь период обучения);
- качество работы и ее соответствие направлению подготовки;
- самостоятельность полученных результатов;
- оформление работы;
- ход ее защиты (доклад выпускника, правильность и глубина ответов на вопросы, умение аргументировать свою позицию);
- отзыв руководителя.

Результаты защиты ВКР определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка	Критерии оценивания
Отлично	Студент глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач
Хорошо	Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения
Удовлетворительно	Студент имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ
Неудовлетворительно	Студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы

Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешную защиту ВКР.

### **3 Описание материально-технической базы**

Перечень и характеристика необходимого для проведения ГИА материально-технического обеспечения:

- компьютерный класс с выходом в Интернет и лицензионным программным обеспечением;
- копировальная техника, принтер, бумага для принтера;
- ноутбук;
- интерактивная доска или проектор.