

**ПРОГРАММА**  
**вступительного экзамена в аспирантуру по научной специальности**  
**2.4.5. Энергетические системы и комплексы**

**1. Основные технические закономерности развития энергетики и электрификации.**

Главные направления их научно-технического прогресса.

Основные природные энергетические ресурсы мира и его основных регионов. Характеристики направлений их использования.

Особенности существующего состояния энергетики мира и их перспективы в последней четверти XX века.

Структуры конечного потребления энергии; структура добычи, переработки, транспорта и использования энергетических ресурсов; роль нетрадиционных видов энергии в энергетическом балансе, основные направления энергосбережения.

Роль замыкающих затрат на топливо и энергию.

**2. Комплексные проблемы энергетики**

Основные комплексные проблемы развития энергетических систем и комплексов; принципы их построения и объединения в Единую электроэнергетическую систему.

Характерные графики электрической нагрузки. Комплексный выбор структуры электрических мощностей, типы электрических станций, и их размещение.

Указатели качества энергии.

Энергоэкологические проблемы. Влияние энергетических объектов на окружающую среду; виды воздействий и последствия загрязнений, методы оценки и нормативы. Технические возможности снижения вредных выбросов в атмосферу и почву.

**3. Основы термодинамики реальных циклов теплоэнергетических установок**

Общая методика термодинамического анализа циклов теплоэнергетических установок. Общие методы повышения термодинамической эффективности циклов.

Циклы паровых теплоэнергетических установок. Показатели эффективности ТЭЦ. Пути повышения эффективности циклов паротурбинных установок конденсационного типа. Особенности реальных циклов паротурбинных установок.

Циклы газотурбинных установок.

Циклы паровых холодильных установок.

Принципы векторной оптимизации: физическая модель вектора-градиента, графическая интерпретация отыскания экстремума функции многих переменных, математическая модель вектора-градиента.

**4. Методы системных исследований в энергетике и их приложения**

Классификация больших систем энергетики: понятие об их природе и основных свойствах. Особенности систем энергетики и энергокомплексов как объектов исследования и управления.

Основные методы и средства изучения и оптимального управления (функционированием, развитием), системами энергетики.

Концепция построения автоматизированных систем управления в энергетике и их характерные особенности.

Системные исследования, математические и физические модели, основные элементы вычислительной техники как научный аппарат современных исследований в энергетике.

**5. Специальные разделы программы**

Аспекты необходимости становления и развития водородной энергетики в России.

Водородные технологии в современном мире.

Водородные циклы на АЭС. Основы безопасности производства водорода методом электролиза воды. Граничные условия целесообразности производства водорода на АЭС. Хранение водорода на АЭС.

Топливные элементы и электрохимические генераторы, их основные технические характеристики, достоинства и недостатки.

Эффективность водородной конверсии на АЭС.

Основные понятия надежности. Показатели надежности.

Сравнение циклов газотурбинных установок.

Основные сведения о влиянии температуры на физико-химические свойства металлов газовых турбин.

Особенности современных котельных установок, показатели экономичности и направления совершенствования.

Методы интенсификации теплообмена в котельных установках и энергетическом оборудовании.

Системы теплоснабжения предприятий и городов, способы регулирования тепловой нагрузки, гидравлические режимы сетей.

Солнечные установки, океанические, геотермальные, ветряные, термоядерные электростанции.

## **Литература**

### **Основная литература:**

1. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 166с.
2. Богуславский Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1990. – 620 с.
3. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС: учебник для энерг. и энергостроит. техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
4. Ионин А.А. Надежность систем тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
5. Костюк А.Г., Фролов В.В. и др. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учеб. для вузов / под ред. А.Г. Костюка. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 488 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Бакластов А.М. Проектирование монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок. – М.: Энергия, 1970. – 567 с.
2. Белевицкий А.М. Проектирование газоочистительных сооружений. – Л.: Химия, 1990. – 288 с.
3. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов : Справочник. – М.: Энергоиздат, 1992. – 176 с.
4. Громогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П. Водоподготовка: процессы и аппараты: учеб.пособие для вузов / под ред. О.И. Мартыновой. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
5. Деринг И.С., Михайленко С.А. Котельные установки и парогенераторы. Паровые котлы и котельные установки: учеб. пособие. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. – 319 с.

## **Тепловые электрические станции, их энергетические системы и комплексы**

### **1. Энергетические ресурсы, типы электростанций и технико-экономические показатели их работы**

Энергетические ресурсы. Графики электрической и тепловых нагрузок. По- требители тепла и электроэнергии. Основные технико-экономические пока- затели производства электроэнергии и тепла. Капитальные затраты и экс- плуатационные расходы. Годовые энергетические показатели КЭС и ТЭЦ. Расход электроэнергии на собственные нужды. Перспективы развития тепло- энергетики.

## **2. Химические и термические методы подготовки воды на ТЭС**

Физико-химические основы процесса ионного обмена. Химическое обессоливание воды. Схемы обессоливания и области их применения. Процесс совместного Н- и ОН-ионирования в фильтре смешанного действия. Химический контроль водного режима тепловых электростанций. Коррозия оборудования ТЭС и методы коррозионной защиты. Очистка сточных вод ТЭС. Схемы включения испарителей на КЭС и ТЭЦ. Многоступенчатые испарительные установки и испарители с самовскипанием воды. Водный режим испарителей и методы получения чистого вторичного пара. Испарители на сырой воде. Растворимость газов и термическая деаэрация воды. Процесс переноса вещества на границе двух фаз и теория массообмена. Классификация и конструкция пленочных, струйных, барботажных и комбинированных деаэраторов. Включение деаэраторов и тепловые схемы ТЭС и теплоснабжения. Деаэрация воды в конденсаторах турбин. Химические методы связывания растворенного в воде кислорода.

## **3. Котельные установки**

Типы и классификация котлов. Тракты и основные элементы котла. Виды компоновок котла. Тепловая схема котла и ее опорные точки. Топка котла, ее назначение и тепловые характеристики. Классификация топочных устройств. Подготовка топлива к сжиганию. Системы пылеприготовления, размольные устройства. Схемы тепловой и аэродинамической организации сжигания топлива. Принципиальные пути обеспечения бесшлаковой работы топки и методы снижения образования в ней токсичных продуктов сгорания. Теплообмен в топке и конвективных поверхностях нагрева. Тепловой расчет паровых котлов и их элементов. Гидродинамика трубных систем с принудительным движением среды и систем с естественной циркуляцией среды. Причины загрязнения пара и методы борьбы с ним. Способы получения чистого пара. Загрязнение, коррозия и эрозия поверхностей нагрева и методы борьбы с ними. Способы поддержания температуры перегретого пара. Конструкции современных котлов и тенденции их развития. Работа котла при переходных режимах. Регулировочные характеристики пароперегревателей. Экономичность работы котла. Отложения солей по тракту котельного агрегата и их удаление.

## **4. Паротурбинные установки электростанций**

Параметры паротурбинных установок, их влияние на экономичность. Работа ступеней турбины. Переменный режим работы турбоустановок. Пуск турбин из различных состояний. Работа турбин на влажном паре, влияние влажности на характеристики турбинной ступени. Сепарация влаги в проточной части турбин. Автоматизация работы паровой турбины. Конденсационные установки паровых турбин.

## **5. Принципиальные тепловые схемы ТЭС и энергоблоков, методы повышения экономичности паротурбинных электростанций**

Методы расчета тепловых схем и исследование их эффективности. Полные тепловые схемы электростанций, выбор основного и вспомогательного оборудования ТЭС. Факторы, влияющие на выбор начальных и конечных параметров. Выбор оптимального распределения регенеративного подогрева воды по ступеням на КЭС и ТЭЦ без промперегрева и с промперегревом пара при последовательном и параллельном включениях пароохладителей. Экономически наиболее выгодная температура питательной воды. Трубопроводы тепловых электростанций и их классификация. Прочностные расчеты трубопроводов. Температурные напряжения в трубопроводах. Ползучесть и длительная прочность паропроводов. Гидродинамика трубопроводов. Тепловая изоляция и расчет тепловых потерь.

## **6. Теплофикация и ее энергетическая эффективность**

Экономические основы теплофикации. Определение расхода топлива на выработку электроэнергии и тепла на паротурбинных ТЭЦ. Тепловое потребление и классификация тепловой нагрузки. Схемы отпуска технологического пара и схемы теплоснабжения. Режимы и методы регулирования централизованного теплоснабжения при однородной и разнородной тепловой нагрузке. Коэффициент теплофикации. Совместная работа ТЭЦ и пиковых котельных.

## **7. Газотурбинные и парогазовые ТЭС**

Типы газотурбинных и парогазовых ТЭС. Принципиальные тепловые схемы газотурбинных и парогазовых ТЭС: структура, назначение агрегатов. Схемы, конструкции, характеристики и режимы работы компрессоров. Камеры сгорания: типы, конструктивные схемы, характеристики. Эксплуатация и переменные режимы работы энергетических газотурбинных установок. Котлы-утилизаторы в тепловой схеме парогазовых ТЭС: конструктивные схемы и особенности их работы. Тепловой и аэродинамический расчеты котлов-утилизаторов. Особенности паротурбинных установок в составе парогазовых ТЭС. Регулирование нагрузки на парогазовых ТЭС с котлами-утилизаторами. Особенности комбинированной выработки электроэнергии и тепла на газотурбинных и парогазовых ТЭС. Парогазовые технологии на пылеугольных электростанциях.

## **8. Режимы работы оборудования ТЭС**

Энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных турбоагрегатов и котельных установок. Экономичные режимы совместной работы агрегатов и блоков ТЭС. Совместная работа ТЭС, ГЭС и АЭС в энергосистемах. Пусковые схемы блоков из различных тепловых состояний. Схемы включения и типы привода питательных насосов, их выбор. Расход топлива на пуск блоков. Перевод турбоагрегатов в моторный режим и другие методы покрытия переменной части графиков нагрузки энергосистемы. Пиковые и полупиковые электростанции и установки. Автоматизация управления работой, пусковыми и остановочными режимами оборудования ТЭС.

## **9. Компонировка главного здания и генплан ТЭС, системы обеспечения работы**

Требования к компоновкам. Различные типы компоновок в зависимости от вида топлива и единичной мощности агрегатов. Методика технико-экономического сравнения компоновок. Выбор места сооружения и компоновка генплана ТЭС.

Техническое водоснабжение, источники и системы водоснабжения. Основы теплового расчета охладителей оборотных систем. Градири различных типов, их сопоставление и области применения. Выбор систем водоснабжения и их технико-экономическое сопоставление.

Топливное хозяйство электростанции. Способы доставки топлива, приемно-разгрузочные и размораживающие устройства. Запасы топлива на ТЭС. Транспортные механизмы топливоподачи и дробильные установки. Пылеприготовление на ТЭС.

Системы золошлакоудаления. Расчет золошлакопроводов и выбор скорости пульпы.

Схемы газовоздушных трактов и оценка их эффективности. Основы разбора элементов газовоздушных трактов. Предотвращение золовых отложений в газоходах. Характеристики тягодутьевых машин. Воздуходувки для котлов под наддувом. Методы регулирования производительности тягодутьевых машин.

## **10. Защита окружающей среды от вредных выбросов ТЭС**

Воздействие ТЭС на окружающую среду. Дымовые трубы и рассеивание вредных в

атмосферу. Предельно допустимые концентрации выбросов и расчет высоты дымовых труб. Выбор скоростей газов в дымовых трубах. Многоствольные дымовые трубы. Снижение выбросов частиц золы в атмосферу. Снижение выбросов оксидов азота и соединений серы в атмосферу. Сокращение выбросов водяного пара и парниковых газов в атмосферу. Снижение вредного воздействия золошлаков на окружающую среду. Основные направления сокращения водопотребления и сброса сточных вод на ТЭС. Образование шламов на ТЭС и пути их утилизации. Причины создания бессточных и малосточных систем технического водоснабжения на ТЭС. Технологические схемы ТЭС с высокими экологическими показателями.

## Вопросы для подготовки к экзамену

1. Энергетические ресурсы
2. Потребители тепла и электроэнергии
3. Химическое обессоливание воды
4. Полные тепловые схемы электростанций, выбор основного и вспомогательного оборудования ТЭС
5. Принципиальные тепловые схемы газотурбинных и парогазовых ТЭС: структура, назначение агрегатов
6. Дымовые трубы и рассеивание вредных веществ в атмосферу
7. Выбор систем водоснабжения и их технико-экономическое сопоставление
8. Растворимость газов и термическая деаэрация воды
9. Причины создания бессточных и малосточных систем технического водоснабжения на ТЭС
10. Факторы, влияющие на выбор начальных и конечных параметров
11. Химические методы связывания растворенного в воде кислорода.
12. Виды компоновок котла
13. Сепарация влаги в проточной части турбин
14. Схемы газоздушных трактов и оценка их эффективности
15. Пуск турбин из различных состояний
16. Температурные напряжения в трубопроводах
17. Очистка сточных вод ТЭС
18. Коррозия оборудования ТЭС и методы коррозионной защиты
19. Теплообмен в топке и конвективных поверхностях нагрева
20. Топка котла, ее назначение и тепловые характеристики
21. Тракты и основные элементы котла
22. Тепловое потребление и классификация тепловой нагрузки
23. Пиковые и полупиковые электростанции и установки
24. Совместная работа ТЭЦ и пиковых котельных

25. Топливное хозяйство электростанции
26. Потери пара и конденсата ТЭС
27. Выбор оптимального распределения регенеративного подогрева воды
28. Схемы отпуска технологического пара и схемы теплоснабжения
29. Расход топлива на пуск блоков
30. Парогазовые технологии на пылеугольных электростанциях
31. Схемы включения и типы привода питательных насосов, их выбор
32. Переменный режим работы турбоустановок
33. Камеры сгорания: типы, конструктивные схемы, характеристики
34. Выбор места сооружения и компоновка генплана ТЭС
35. Основные технико-экономические показатели производства электроэнергии и тепла
36. Транспортные механизмы топливоподачи и дробильные установки
37. Конденсационные установки паровых турбин
38. Снижение выбросов частиц золы в атмосферу
39. Снижение выбросов оксидов азота и соединений серы в атмосферу
40. Перспективы развития теплоэнергетики
41. Теплоэнергетика, ее место и значение в топливно-энергетическом комплексе страны
42. Виды тепловых нагрузок и их расчет. Режимы и графики теплотребления. Теплоносители и их параметры
43. Современные подходы к решению экологических проблем. Снижение безвозвратных потерь тепловых электрических станций
44. Теплоэнергетические и теплотехнологические комплексы предприятий
45. Тепловые сети: их назначение, конструкции. Гидравлический режим тепловых сетей
46. Классификация, устройство и основы расчета сушильных установок. Построение процесса сушки в  $h, d$ -диаграмме влажного воздуха
47. Обобщенное понятие о системе теплоэнергоснабжения промпредприятия и входящих в ее состав систем производства и распределения энергоносителей
48. Горячее водоснабжение. Расчетная потребность в теплоте на горячее водоснабжение. Графики потребления
49. Состав и показатели воздушных компрессионных станций промпредприятий. Выбор типа и количества компрессоров и вспомогательного оборудования
50. Термодинамическая система и окружающая среда. Состояние термодинамической системы, параметры и уравнение состояния. Термодинамические процессы
51. Отопление промышленных и жилых зданий. Расчет теплотерь и тепловыделений в производственных помещениях. Суточные и годовые графики теплотребления
52. Назначение, структура и классификация систем воздухообогрева промпредприятий. Методы определения расчетной потребности в сжатом воздухе
53. Первый закон термодинамики. Работа и теплота – формы обмена энергией. Второй закон термодинамики
54. Назначение и методы регулирования тепловой нагрузки в системах централизованного теплоснабжения и их сопоставление. Центральное регулирование однородной и разнородной тепловой нагрузки. Графики температур и расхода теплоносителя.
55. Потребители искусственного холода. Требования к хладагентам. Расчет потребности предприятия в холоде. Способы производства холода и типы холодильных установок.
56. Термодинамические циклы и их изображение в  $I, S$ -диаграмме.
57. Назначение и рациональные области использования паровых и водогрейных котельных. Выбор количества котлоагрегатов, их типоразмеров и состава вспомогательного оборудования.
58. Системы водоснабжения промпредприятий (схемы и состав). Качество воды и определение ее потребности на предприятии.
59. Понятие эксергии. Потери эксергии в необратимых процессах. Эксергетический КПД.
60. Классификация тепловых электростанций. Принципиальные схемы КЭС, ТЭС и АЭС.

61. Классификация, устройство и основы расчета выпарных аппаратов и установок.
62. Виды теплообмена. Основной закон теплопроводности (закон Фурье). Теплопроводность стенок.
63. Основные схемы отпуска тепла на ТЭЦ. Выбор оптимального значения коэффициента теплофикации.
64. Назначение, структура и классификация систем воздухообеспечения промпредприятий. Методы определения расчетной потребности в сжатом воздухе.
65. Конвективный теплообмен (закон Ньютона). Особенности конвективного теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях.
66. Основные определения показателей надежности теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС.
67. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, сушильных, выпарных, ректификационных установок.
68. Сложный теплообмен. Теплопередача, определение коэффициента теплопередачи.
69. Обеспечение надежности на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации оборудования ТЭС.
70. Актуальность энергосбережения в России и мире: государственная политика в области повышения эффективности использования энергии.
71. Топливо. Характеристики и элементарный состав топлива. Технические характеристики топлив. Теплота сгорания топлива. Понятие условного топлива.
72. Влияние современных производств на окружающую среду: характеристика и масштабы взаимодействия различных отраслей промышленности, ТЭС и котельных с окружающей средой.
73. Основные типы утилизационных установок. Конструкции котлов утилизаторов.
74. Основные стадии горения газового, жидкого и твердого топлив.
75. Основы энергоаудита объектов теплоэнергетики. Энергобалансы предприятий.
76. Компрессоры. Их классификация, принцип работы, показатели, выбор и области использования.
77. Котельные установки. Классификация и области использования котлоагрегатов. Материальные балансы котлов.
78. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, сушильных, выпарных, ректификационных установок.
79. Потребители искусственного холода. Требования к хладагентам. Расчет потребности предприятия в холоде. Способы производства холода и типы холодильных установок.
80. Классификация топочных устройств по методу сжигания и характеру организации потоков воздуха и газов в топке.
81. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.
82. Мало- и безотходные технологии как средства защиты окружающей среды.
83. Теплообменные аппараты. Классификация, схемы, конструкции и принципы их расчета.
84. Рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере: методика расчета; выбор оптимальной высоты трубы; оценка эффективности мероприятий по защите атмосферы от выбросов предприятий.
85. Рациональное энергоиспользование в системах производства и распределения энергоносителей.
86. Водоподготовка. Требования к питательной воде. Основные способы обработки питательной воды.
87. Современные подходы к решению экологических проблем. Снижение безвозвратных потерь тепловых электрических станций.
88. Отопление промышленных и жилых зданий. Расчет тепопотерь и тепловыделений в производственных помещениях. Суточные и годовые графики теплоснабжения.



### Основная литература

1. В. П. Тутубалина, Л. Р. Гайнуллина. «Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты». Учебное пособие. - КГЭУ, 2005.-103.
2. А. Ш. Низамова. «Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты. Ч. 1.». Учебное пособие.- КГЭУ, 2005.-123 с.
3. А. А. Федосов, Н. Д. Чичирова. «Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты». Учебное пособие. – 2003.-1 0€
4. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции : учебник/ Л.С.Стерман, В.М.Лавыгин, С.Г.Тишин. -4-е изд., перераб. и доп.. -М.: МЭИ, 2008. -464 с.: ил.

### Дополнительная литература

5. В.Я.Рыжкин "Тепловые электрические станции": М., Энергоатомиздат, 1987, 328с.
6. Л.С.Стерман, С.А.Тевлин, "Тепловые и атомные элект
- 9.1.4. Д.П.Елизаров "Теплоэнергетические установки электростанций": М., Энергоатомиздат, 1982, 264с.
7. Баженов М.И.,Богородский А.С. Сборник задач по курсу "Промыш-ленные тепловые электростанции" М.:Энергоатомиздат,1990,128 с.