

## 1. Общие положения

Вступительный экзамен по магистерской программе «Обеспечение безопасности эксплуатации атомных электрических станций» должен обеспечивать уровень компетентности студентов по следующим дисциплинам:

- атомные электростанции;
- парогенераторы и теплообменники;
- турбомашин АЭС;
- физика ядерных реакторов.

Оценочные средства для контроля по дисциплине направлены на проверку знаний и умений студентов, являющихся основой формирования у обучающихся профессиональных компетенций.

Вступительное собеседование по программе «Обеспечение безопасности эксплуатации атомных электрических станций» проводится в форме собеседования по вопросам, изложенным в билетах.

Оценка выставляется по 100-балльной системе. Неудовлетворительной оценкой является оценка от 1 до 60 баллов.

## 2. Вопросы вступительного собеседования

### 2.1 Атомные электростанции

1. Изобразите в T-S и H-S диаграммах термодинамический цикл с турбиной на перегретом и насыщенном паре. Как условия работы твэлов реактора ограничивают температуру и давление свежего пара.
2. Что такое термический к.п.д. теплового двигателя. В каких случаях можно записать его выражение через начальную и конечную температуры цикла.
3. Изобразите в H-S диаграмме термодинамический цикл турбины АЭС на насыщенном паре с сепарацией и промежуточным перегревом. Свяжите точки на диаграмме с конкретным оборудованием АЭС.
4. На какие части делится график электрической нагрузки по уровню потребления энергии. Как «заполняется» график нагрузки различными электростанциями.
5. Что такое регенерация теплоты в турбоустановке АЭС. Как она осуществляется физически и технически.
6. Техничко-экономические показатели АЭС. Номенклатура КПД, КИУМ и коэффициенты готовности. Структура себестоимости энергии
7. Для чего нужна сепарация и промежуточный перегрев пара. Обоснуйте с помощью H-S диаграммы.
8. От чего зависит вакуум в конденсаторе турбины. Для чего необходимо поддерживать вакуум в конденсаторе. Каким оборудованием он обеспечивается.
9. Конденсатный тракт второго контура АЭС с реакторами ВВЭР. Схемы

- включения и конструкции ПНД.
10. Назначение и состав деаэрационной установки. Способы дегазации воды. Типы деаэраторов и их конструкции.
  11. Питательный тракт. Схемы включения питательных насосов и ПВД.
  12. Основные потребители технической воды на АЭС. Системы технического водоснабжения атомных электростанций.
  13. Схемы трубопроводов свежего пара АЭС. Устройства для защиты от превышения давления.
  14. Что входит в состав реакторной установки с реактором типа ВВЭР-1000. Изобразите технологическую схему с основными элементами первого контура.
  15. Укажите основные технические характеристики реакторных установок с реакторами ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200, используемое топливо, средства воздействия на реактивность.
  16. Контроль нейтронного потока и органы регулирования реактора ВВЭР-1000.
  17. Система компенсации давления. Физический принцип действия и основное оборудование.
  18. Источники загрязнения первого контура. Очистка теплоносителя первого контура на системах спецводоочистки.
  19. Система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ). Пассивная часть.
  20. Система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ). Активная часть (система аварийного и планового расхолаживания). Высвобождение реактивности при расхолаживании реактора.
  21. Система локализации аварий. Герметичная оболочка АЭС с ВВЭР. Спринклерная система.
  22. Что входит в состав реакторной установки с реактором типа РБМК. Изобразите технологическую схему реакторной и турбинной установки.
  23. Укажите основные технические характеристики реакторной установки с реактором типа РБМК-1000, включая систему перегрузки топлива.

## **2.2 Парогенераторы и теплообменники**

1. Парогенератор ПГВ – 1000:  $t - Q$  диаграмма. Уравнение теплового баланса. Конструктивная форма трубного пучка.
2. Парогенератор ПГВ -1000: общий вид, назначение, основные узлы и их назначение. Конструкционные материалы: корпуса, трубчатки. Параметры теплоносителя и рабочей среды.
3. Парогенератор к реактору БН – 600:  $t - Q$  диаграмма. Уравнение теплового баланса. Конструктивная форма трубного пучка.
4. Парогенератор к реактору БН – 600: конструкция модуля испарителя, направление движения теплоносителя и рабочей среды, конструкционные материалы: корпуса, трубного пучка.
5. Парогенератор к реактору БН – 600: конструкция модулей первичного и вторичного пароперегревателей, направление движения сред, конструкционные материалы.

6. Парогенератор к реактору БН – 600: общий вид секции ПГ, схема движения сред, параметры теплоносителя и рабочей среды.
7. Прямоточный ПГ к реактору ВВЭР-1500: общий вид, основные технические решения.
8. Расчет  $t - Q$  диаграммы парогенератора: определение температуры теплоносителя на границе экономайзера и испарителя.
9. Сравнительный анализ парогенераторов: прямоточного и ПГ с ЕМЦ.
10. Сравнительный анализ парогенераторов: горизонтального и вертикального.
11. Методика расчета коэффициента теплоотдачи от трубчатки к рабочей среде.
12. Методика расчета гидравлического сопротивления первого контура ПГВ – 1000.
13. Основные технические решения в проекте ПГВ – 1000 МКП и ПГВ – 1000 МКО.
14. Подогреватели низкого давления: место в тепловой схеме АЭС, назначение, конструктивная схема, основные узлы и их назначение, схема движения сред. Конструкционные материалы.
15. Подогреватели высокого давления: место в тепловой схеме АЭС, назначение, конструктивная схема, основные узлы и их назначение, схема движения сред. Конструкционные материалы.
16. СПП – 1000: место в тепловой схеме АЭС, назначение, конструктивная схема, основные узлы и их назначение, схема движения сред. Конструкционные материалы.
17. Деаэраторы АЭС: назначение, принцип работы, конструктивная схема, основные узлы, схема движения сред, конструкционные материалы.
18. Регенеративный теплообменник ДУ 800 мм первого контура АЭС с ВВЭР – 1000: назначение, конструктивная схема, конструкционный материал.
19. Водно-химические режимы второго контура АЭС с ВВЭР – 1000: задачи ВХР, используемые вещества (реагенты), зависимость от конструкционных материалов.
20. Основные положения теплогидравлического расчета ПНД.
21. Конструктивные формы трубного пучка парогенераторов.
22. Конструктивные формы трубчатки ПНД и ПВД.
23. Конструкционные материалы трубного пучка парогенераторов: прямоточных, ПГ с ЕМЦ,

### **2.3 Турбомашины АЭС**

1. Объясните работу разгрузочного «поршня». Что такое осевой сдвиг ротора и как его предупреждают.
2. Как работает концевое уплотнение турбины. Каковы требования к сборке муфт.

3. Нарисуйте простейшую схему автоматического управления. Какие агрегаты обеспечивают надежную работу системы маслоснабжения.
4. Какого типа хвостовое соединение наиболее удобно для замены рабочих лопаток в условиях электростанции. Почему вильчатые хвосты делают с большим числом вилок, а грибовидные — с большим числом опорных поверхностей.
5. В чем состоит главный принцип установки внутреннего корпуса во внешнем при двухстенной конструкции; как он реализуется. Каков принцип установки диафрагм в корпусе турбины.
6. Как должна работать система регулирования при отключении генератора от сети. Какие требования предъявляются к регулирующим клапанам.
7. В чем преимущества регенеративного цикла Ренкина. Чем опасно попадание сырой воды в паровое пространство конденсатора.
8. Для какой цели во вкладыше выполняют баббитовую заливку. Каково назначение сферической опоры вкладыша опорного подшипника.
9. Как в опорном подшипнике изменяется положение оси расточки вкладыша. Что такое разбег в подшипнике и из каких соображений он выбирается.
10. Какова роль упорного подшипника в турбине. Чем определяется осевая сила, действующая на упорный сегмент.
11. Какие функции выполняет механизм управления турбиной. Как он влияет на статическую характеристику регулирования. Зачем в турбине предусматриваются автоматические системы защиты.
12. Каково назначение бандажа. Как диафрагмы устанавливаются в обойме или в корпусе турбины. В чем преимущества и недостатки использования обойм.
13. В чем преимущества быстроходного бесшарнирного регулятора частоты вращения перед тихоходным. Вернутся ли к исходному состоянию бойки автомата безопасности после его срабатывания и прекращения подачи пара в турбину. Каково при этом будет положение стопорных и регулирующих клапанов.
14. Почему в турбине возникают осевые усилия. С помощью каких деталей устанавливаются осевые зазоры в проточной части турбины.
15. Для каких ЦНД более опасно возрастание давления в выходном патрубке: с выносными или встроенными подшипниками. Назовите основные устройства конденсационной установки и их назначения.
16. К каким последствиям приводит ползучесть материала. Какие конструктивные меры используются для уменьшения осевых усилий в турбине. Каков принцип установки диафрагм в корпусе турбины.
17. Каково назначение сферической опоры вкладыша опорного подшипника? Какие элементы разгружают заплечики в хвостовых соединениях Т-образного и грибовидного типов? Какие основные требования предъявляются к системам смазки паровых турбин?

18. Перечислите потери, которые учитывает относительный лопаточный КПД ступени. Как связаны эти потери с коэффициентами скорости. Что такое степень реакции ступени. В чем разница в установке корпусов ЦВД и ЦНД.
19. Почему турбины выполняют многоступенчатыми. Почему турбины выполняются многоцилиндровыми. Объясните появление потерь при впуске и выходе пара в многоступенчатой турбине.
20. Какими конструктивными мерами выравниваются усилия на отдельные сегменты упорного подшипника. Назовите типы применяемых опорных подшипников, их преимущества и недостатки. Для какой цели корпус подшипника снабжают уплотнением.
21. Чем вредны присосы воздуха в конденсатор. Чем опасно попадание сырой воды в паровое пространство конденсатора. Почему в конденсаторе образуется глубокий вакуум.
22. В чем состоит целесообразность повышения единичной мощности турбоагрегата? Что ограничивает единичную мощность турбоагрегата. В чем преимущества двухстенных корпусов ЦНД.

#### **2.4 Физика ядерных реакторов**

1. Скорость реакции данного вида. Плотность реакции данного вида (плотность замедления, деления и т.п.) под действием нейтронов. Микро- и макроскопическое сечения. Длина свободного пробега нейтронов.
2. Зависимость нейтронных сечений от энергии. Сечения деления, поглощения, рассеяния основных компонентов активных зон реакторов. Преимущества реакторов на тепловых нейтронах.
3. Решение уравнения диффузии и условие критичности реактора. Случай цилиндрического реактора
4. Критические размеры гомогенных голых реакторов различной геометрии, их геометрические параметры, распределение плотности потока нейтронов (пластина, сфера, параллелепипед, цилиндр).
5. Основные закономерности замедления нейтронов. Потеря энергии на столкновение, ступенька замедления.
6. Основные свойства замедлителей ядерных реакторов. Замедляющая способность. Коэффициент замедления. Сопоставление свойств воды, графита и тяжёлой воды.
7. Нейтронный цикл в тепловом ядерном реакторе. Время замедления и время диффузии нейтронов. Время жизни поколения.
8. Описание нейтронного цикла формулой четырёх сомножителей. Физический смысл и значение (для ВВЭР) множителей формулы 4-х сомножителей.
9. Резонансное поглощение. Понятие эффективного и истинного резонансного интеграла. Вероятность избежать захвата при замедлении в присутствии резонансного поглотителя.
10. Длина и площадь миграции. Условие критичности реактора с учётом замедляющихся нейтронов.

11. Коэффициент размножения в бесконечной среде и эффективный коэффициент размножения в реакторе. Утечка нейтронов. Вероятность избежать утечки при замедлении. Вероятность избежать утечки при диффузии. Влияние изменения линейных размеров гомогенного ядерного реактора на  $K_{эф}$  и реактивность.
12. Неравномерность нейтронного поля и энерговыделения в ядерных реакторах. Определение коэффициентов неравномерности для реакторов простой формы (пластина, цилиндр). Способы снижения неравномерности.
13. Показатели неравномерности поля энерговыделения реакторов ВВЭР-1000. Коэффициенты неравномерности и аксиальный оффсет. Внутрореакторный контроль в реакторах ВВЭР.
14. Физическое профилирование. Идеальное и реальное физическое профилирование топливных загрузок.
15. Однократные и многократные перегрузки. Обоснование преимущества многократных перегрузок.
16. Перегрузки реакторов ВВЭР. Изменение запаса реактивности в течение кампании. Расположение топлива разного выгорания в активной зоне ВВЭР-1000.
17. Функции отражателя. Эквивалентный реактор. Эффективная добавка отражателя. Тонкий и толстый отражатель, бесконечно толстый отражатель.
18. Особенности гетерогенных реакторов. Простые и сложные решётки. Профиль нейтронного поля в гетерогенных решётках.
19. Коэффициенты формулы четырех сомножителей для гомо- и гетерогенного ядерного реактора. Коэффициент использования тепловых нейтронов для гомо- и гетерогенного ЯР. Фактор проигрыша.
20. Реактивность. Запас реактивности. Эффекты и коэффициенты реактивности. Обратные связи и саморегулирование ядерных реакторов. Требования ядерной безопасности.
21. Температурные эффекты в реакторе. Зависимость параметров в формуле 4-х сомножителей от температуры топлива.
22. Температурные эффекты в реакторе. Зависимость параметров в формуле 4-х сомножителей от температуры замедлителя.
23. ТЭР и ТКР по замедлителю и топливу, порядки их величин. Связь мощностного и температурного эффектов.
24. Нейтронно-физические особенности ВВЭР. Тесная и разреженная решётка.
25. Нейтронно-физические особенности ВВЭР. Борная компенсация и её влияние на нейтронно-физические свойства реактора.
26. Нейтронно-физические особенности ВВЭР. Влияние давления в первом и втором контурах на реактивность.
27. Нейтронно-физические особенности ВВЭР. Эксплуатация уран-плутониевого топлива в них.

28. Перспективы развития технологии ВВЭР. Реакторы со спектральным регулированием, со сверхкритическими параметрами теплоносителя
29. Выгорание и воспроизводство ядерного топлива. Уран-плутониевый и уран-ториевый топливные циклы.
30. Нейтронно-физические особенности реакторов на быстрых нейтронах (БН).

### 3. Рекомендуемая литература

1. Зверков, В.В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС [Электронный ресурс]: монография / В. В. Зверков. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2014. Режим доступа: [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Zverkov\\_Avtomatizirovannaya\\_sistema\\_upravleniya\\_tekhnologicheskimi\\_protssami\\_2014&page=1&Z21ID=1115185761955714315138](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Zverkov_Avtomatizirovannaya_sistema_upravleniya_tekhnologicheskimi_protssami_2014&page=1&Z21ID=1115185761955714315138)
2. Якубенко, И.А. Технологические процессы производства тепловой и электрической энергии на АЭС [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / И. А. Якубенко, М. Э. Пинчук. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2013. - Режим доступа: [http://library.mephi.ru/pdftunnel.php?PATH=book-mephi%2FYakubenko\\_Tehnologicheskie\\_processy\\_proizvodstva\\_teplovoj\\_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426](http://library.mephi.ru/pdftunnel.php?PATH=book-mephi%2FYakubenko_Tehnologicheskie_processy_proizvodstva_teplovoj_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426)
3. Зорин, В. М. Атомные электростанции [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. М. Зорин. – Москва : МЭИ, 2012. – 672 с. : ил.
4. Резинских, В.Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин [Текст] / В. Ф. Резинских, В. И. Гладштейн, Г. Д. Авруцкий. - М.: Издат. дом МЭИ, 2007. - 296 с.
5. Трухний, А.Д. Атлас конструкций деталей турбин [Текст]: учеб. пособие для вузов. В 2 ч. Ч. 1 : Чертежи и конструкции / А. Д. Трухний, Б. Н. Крупенников, А. Н. Троицкий. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издат. дом МЭИ, 2007. - 152 с.
6. Трухний, А.Д. Атлас конструкций деталей турбин [Текст]: учеб. пособие для вузов. В 2 ч. Ч. 2 : Описания конструкций / А. Д. Трухний, Б. Н. Крупенников, А. Н. Троицкий. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издат. дом МЭИ, 2007. - 164 с.
7. Александров, А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок [Текст]: учеб. пособие для вузов / А. А. Александров. - 2-е изд., стер. - М.: Издат. дом МЭИ, 2006. - 158 с.
8. Тепловые и атомные электростанции [Текст]: справочник / под общ. ред. А.В. Клименко. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МЭИ, 2003. - 648 с.
9. Турбины тепловых и атомных электрических станций [Текст]: учеб. для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Буклин, А. Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 488 с.

10. Казанский, Ю.А. Кинетика ядерных реакторов. Коэффициенты реактивности. Введение в динамику [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / Ю. А. Казанский, Я. В. Слекеничс. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2012..- Режим доступа: [http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426&PATH=book-mephi%2FKazanskij\\_Kinetika\\_yadernyh\\_reaktorov.Koefficient\\_reaktivnosti\\_2012.pdf](http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426&PATH=book-mephi%2FKazanskij_Kinetika_yadernyh_reaktorov.Koefficient_reaktivnosti_2012.pdf)
11. Лескин, С. Т. Физические особенности и конструкция реактора ВВЭР-1000 [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. Т. Лескин, А. С. Шелегов, В. И. Слободчук. - М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – 116 с.
12. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР [Текст] : учеб. пособие для вузов / [С. Б. Выговский и др.] - М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – 376 с.
13. Физика и эксплуатационные режимы реактора ВВЭР-1000 [Электронный ресурс] : монография / В. И. Белозеров [и др.]. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – Режим доступа: [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Belozеров\\_Fizika\\_i\\_ekspluatatsionnye\\_rezhimy\\_reaktora\\_VVER-1000\\_2014&page=1&Z21ID=1912145661955012305836](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Belozеров_Fizika_i_ekspluatatsionnye_rezhimy_reaktora_VVER-1000_2014&page=1&Z21ID=1912145661955012305836)
14. ЭБС НИЯУ МИФИ: [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK)
15. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>
16. ЭБС «Лань»: <http://e.lanbook.com/books/>