

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Нововоронежский политехнический институт –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НВПИ НИЯУ МИФИ)

УТВЕРЖДЕН:

Педагогическим советом

«17» марта 2023г., протокол № 550

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

«Теплообменные аппараты и парогенераторы»

Направление подготовки: 14.03.01. Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт оборудования АЭС

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

Нововоронеж 2023 г.

1. Паспорт фонда оценочных средств

1.1. Модели контролируемых компетенций:

Оценочные средства для контроля по дисциплине направлены на проверку знаний и умений студентов, являющихся основой формирования у обучающихся компетенции:

ПК-15 – Способен выбирать оборудование для замены и обеспечивать проведение мероприятий по устранению выявленных недостатков в процессе эксплуатации.

ПК-18 - Способен участвовать в демонтаже, ремонте, проверке, монтаже, наладки оборудования, проведения входного контроля поступившего оборудования

ПК-2 – Способен к участию в проведении физического и численного эксперимента, к подготовке соответствующих экспериментальных стендов

Согласно Рабочему учебному плану направления, в формировании данной компетенции участвуют дисциплины и виды практик:

ПК-15

Теплообменные аппараты и парогенераторы

Техническое диагностирование технологического оборудования

Эксплуатация АЭС

Эксплуатация турбомашин АЭС

Учебная практика (ознакомительная)

Учебная практика (технологическая)

Производственная практика (эксплуатационная)

Производственная практика (преддипломная)

ПК-18

Физика ядерных реакторов

Теплообменные аппараты и парогенераторы

Тепломассообмен

Техническое диагностирование технологического оборудования

Испытание и наладка энергетического оборудования

Экспериментальные методы исследований на АЭС

Учебная практика (ознакомительная)

Учебная практика (технологическая)

Производственная практика (эксплуатационная)

Производственная практика (преддипломная)

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной

работы

ПК-2

Химия

Техническая термодинамика

Теория переноса нейтронов

Материаловедение и технология конструкционных материалов

Теплообменные аппараты и парогенераторы

Испытание и наладка энергетического оборудования

Экспериментальные методы исследований на АЭС

Учебная практика (ознакомительная)

Учебная практика (технологическая)

Производственная практика (эксплуатационная)

Производственная практика (преддипломная)

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

В результате освоения дисциплины студенты, для формирования данных компетенций должны:

знать:

З1- оборудование для замены и обеспечения проведения мероприятий

по устранению выявленных недостатков в процессе эксплуатации;

З2- демонтаж, ремонт, проверку, монтаж, наладку оборудования;

З3- методы проведения физического и численного эксперимента, и подготовки соответствующих экспериментальных стендов

уметь:

У1- выбирать оборудование для замены и обеспечивать проведение мероприятий по устранению выявленных недостатков в процессе эксплуатации;

У2- проводить входной контроль поступившего оборудования;

У3- проводить физический и численный эксперимент, подготовить соответствующие экспериментальные стенды

владеть:

В1- навыками выбирать оборудование для замены и обеспечивать проведение мероприятий по устранению выявленных недостатков в процессе эксплуатации;

В2- навыками демонтажа, ремонта, проверки, монтажа, наладки оборудования, проведения входного контроля поступившего оборудования;

В3- методами проведения физического и численного эксперимента и

подготовки соответствующих экспериментальных стендов.

1.2 Программа оценивания контролируемой компетенции:

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины «Теплообменные аппараты и парогенераторы»	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства	
			текущий	рубежный
1	Назначение, классификация и основы проектирования теплообменных аппаратов	ПК-5; ПК-18; ПК-2	3УО	4Т
2	Конструкции теплообменных аппаратов АЭС	ПК-5; ПК-18; ПК-2	9УО	11Т
3	Теплообмен и гидродинамика теплообменных аппаратов	ПК-5; ПК-18; ПК-2	16УО	17Т
4	Назначение, классификация и основы проектирования ПГ	ПК-5; ПК-18; ПК-2	3УО	4Т
5	Конструкции и схемы подключения ПГ	ПК-5; ПК-18; ПК-2	8УО	9Т
6	Тепловой, гидравлический и прочностной расчеты ПГ	ПК-5; ПК-18; ПК-2	12УО	13Т
7	Воднохимические режимы ПГ	ПК-5; ПК-18; ПК-2	16УО	17Т

1.3 Оценочные средства для входной, текущей и промежуточной аттестации (аннотация).

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
	1	2	3
1	Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Фонд тестовых заданий
2	Контрольная работа	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу	Комплект контрольных заданий по вариантам
3	Устный опрос	Средство контроля усвоения лекционного материала и оценки способности решать практические задачи по теме или разделу	Комплект вопросов по разделам дисциплины

2. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

для оценки знаний, умений, навыков по дисциплине

Типовые контрольные задания представлены в соответствии с перечнем оценочных средств по дисциплине в следующей структуре:

- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- сами оценочные средства с выделением правильных ответов (для тестов);
- критерии и шкалы оценивания.

Входное тестирование

Тест № 1

1. Термодинамический параметр – это:

1. Температура, °С. 2. Избыточное давление. 3. Энтальпия. 4. Абсолютное давление.

2. Термодинамический параметр – это:

1. Температура, °С. 2. Избыточное давление. 3. Энтальпия. 4. Абсолютная температура °К.

3. Термодинамический параметр – это:

1. Температура, °С. 2. Избыточное давление. 3. Энтальпия. 4. Удельный объем.

4. Термодинамическая функция – это:

1. Температура, °С. 2. Избыточное давление. 3. Энтальпия. 4. Удельный объем.

5. Согласно закону Бернулли при внезапном расширении трубопровода:

1. Статическое давление потока жидкости уменьшается, а динамическое – увеличивается.
2. Статическое и динамическое давление увеличиваются.
3. Статическое давление увеличивается, а динамическое снижается.
4. Оба давления уменьшаются.

6. Согласно закону Бернулли при внезапном сужении трубопровода полное давление (сумма статического и динамического):

1. Увеличивается. 2. Уменьшается. 3. Не изменяется.

7. Какое вещество несжимаемое:

1. Гелий. 2. Углекислый газ. 3. Вода. 4. Водяной пар.

8. Физический смысл числа Рейнольдса:

1. Отношение сил инерции к силам вязкости.
2. Отношение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.
3. Характеризует температурный напор.
4. Отношение сил давления и инерции.

9. Физический смысл критерия Рейнольдса:

1. Характеризует характер течения жидкостей: ламинарный или турбулентный.
2. Отношение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.
3. Характеризует температурный напор.
4. Отношение сил давления и инерции.

10. При течении жидкости в трубопроводе при постоянном диаметре не изменяется:

1. Полное давление.
2. Статическое давление.
3. Динамический напор.
4. Абсолютное давление.

Тест № 2

1. В идеальной жидкости:

1. Режим течения ламинарный.
2. Режим течения турбулентный.
3. Отсутствует сила трения.
4. Температура равна абсолютному нулю.

2. Основной закон гидростатики:

1. $P = P_{\text{стат}} + P_{\text{дин}}$.
2. $P = \rho \cdot g \cdot h$.
3. $\Delta P_M = \xi_M \cdot \rho w^2 / 2$.
4. $P = F/S$.

3. При $t = 20^\circ\text{C}$:

1. $T = 120^\circ\text{K}$.
2. $T = 80^\circ\text{K}$.
3. $T = 273^\circ\text{K}$.
4. 293°K .

4. При $t = -273^\circ\text{C}$:

1. $T = 20^\circ\text{K}$.
2. $T = 0^\circ\text{K}$.
3. $T = -20^\circ\text{K}$.
4. $T = -173^\circ\text{K}$.

5. Закон теплопроводности Фурье:

1. $q = \alpha \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}})$.
2. $q = -\lambda \cdot \text{grad}t$.
3. $\alpha = \text{Nu} \cdot \lambda / d$.
4. $\text{Re} = w \cdot d / \nu$.

6. Закон теплоотдачи Ньютона – Рихмана:

1. $q = \alpha \cdot (t_{ст} - t_{ж})$. 2. $q = - \lambda \cdot \text{grad}t$. 3. $\alpha = Nu \cdot \lambda / d$. 4. $Re = w \cdot d / \nu$.

7. Физический смысл критерия Рейнольдса:

1. Служит оценкой гидродинамического подобия при физическом моделировании парогенераторов и теплообменников.
2. Отношение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.
3. Характеризует температурный напор.
4. Отношение сил давления и инерции.

8. Какая область турбулентного пограничного слоя обладает наибольшим термическим сопротивлением:

1. Перемежаемости.
2. Ламинарный подслой.
3. Турбулентная.

9. Критический диаметр трубы соответствует:

1. Максимальному полному термическому сопротивлению теплопередачи.
2. Минимальному полному термическому сопротивлению теплопередачи.
3. Минимальному полному гидравлическому сопротивлению.
4. Максимальному полному гидравлическому сопротивлению.

10. Ламинарный режим течения соответствует критерию Re равному:

1. 5000.
2. 10^5 .
3. 1000.
4. 10^4 .

Оценочные средства для текущей аттестации

Тест №1

1. Конструктивная форма трубчатки ПГВ-1000:

1. Прямые трубки.
2. У-образные трубки.
3. Спирально-витые змеевики.
4. Ширмы.

2. ПГВ-1000 вырабатывает пар:

1. Сверхкритических параметров.
2. Насыщенный.
3. Перегретый высокого давления.
4. Перегретый среднего давления.

3. Материал корпуса ПГВ-1000:

108X18N10T. 2. 10ГН2МФА. 3. 08X14МФ. 4. 15X2НМФА.

4. Материал трубчатки ПГВ-1000:

1. 08X18N10T. 2. 16ГН2МФА. 3. 08X14МФ. 4. 15X2НМФА.

5. Назначение погружного дырчатого листа:

Увеличение паро-производительности. Профилирование паровой нагрузки. Увеличение параметров пара. Интенсификация теплообмена.

6. Расположение трубок в пучке ПГВ-1000: Коридорное. Комбинированное. Шахматное.

7. Давление генерируемого пара в ПГВ-1000, МПа:

24,5; 10; 6,4; 8,2.

8. Циркуляция котловой воды в ПГВ-1000:

Прямоточная. Комбинированная. Естественная многократная. Естественная неорганизованная.

9. Типоразмер трубчатки ПГВ-1000:

Ø16x2мм. Ø16x1,5мм. Ø32x6мм. Ø10x1,2 мм.

10. Основная питательная вода поступает в ПГВ-1000 в последовательности:

1. Ду80. 2. Ду250. 3. Ду400. 4. Ду20.



Правильный ответ: 3-2-1-4.

Тест № 2

1. Назначение продувки:

1. Повышение параметров пара. 2. Увеличение паро-производительности.
3. Повышение качества пара. 4. Снижение влагосодержания в паре.

2. При совмещении экономайзера с испарителем по существу поверхность трубчатки работает в условиях:

1. Однофазного течения. 2. Прямоточной циркуляции. 3. Кипения.
4. Конденсации пара.

3. Среда с меньшим давлением направляется в межтрубное пространство с целью:

1. Интенсификации теплообмена. 2. Увеличения температуры пара.
3. Снижения металлоемкости парогенератора. 4. Увеличения температурного напора.

4. В горизонтальных ПГ к ВВЭР минимальный температурный напор равен 10-12 оС из-за требования:

1. Увеличения паро-производительности. 2. Увеличения параметров пара.
3. Уменьшения влагосодержания в паре. 4. Ограничения металлоемкости.

5. Кратность циркуляции в прямоточном парогенераторе равна:

1. 6. 2. 10. 3. 20. 4. 1,0.

6. Водно-химический режим ПГВ – 1000: 1. Нейтральный. 2. Коррекционно-щелочной. 3. Комплексонный. 4. Кислотный.

7. Парогенераторы к реакторам БН-600 и БН-800:

1. Корпусные. 2. Модульные. 3. Секционные. 4. Секционно-модульные.

8. Внутренний диаметр трубки с типоразмером 16×1,5 мм равен:

1. 13 мм. 2. 24мм. 3. 14,5мм. 4. 17,5мм.

9. Парогенераторы к реакторам БН-600 и БН-800:

1. С естественной многократной циркуляцией. 2. С естественной комбинированной циркуляцией. 3. Прямоточные. 4. Прямоточные с комбинированной циркуляцией.

10. При кратности циркуляции равной шести массовое паросодержание равно:

1. 6%. 2. 17%. 3. 60%. 4. 94%.

Тест №3

1. Движущий напор естественной циркуляции равен:

1. $g \cdot h \cdot (\rho' - \rho_{см})$. 2. $\rho \cdot g \cdot h$. 3. $\rho \cdot w^2/2$. 4. $\xi \cdot \rho \cdot w^2/2$.

2. В качестве материала трубчатки прямоточного ПГ при давлении пара 6 – 10 МПа пригодна сталь:

1. 12X1МФ. 2. 08X18Н10Т. 3. 08X14МФ. 4. 08X18Н9.

3. Сталь 12X18Н10Т не пригодна в качестве материала трубчатки прямоточного ПГ на давление 6 – 10 МПа из-за:

1. Отсутствия сепарирующих устройств. 2. Наличия зоны до упаривания. 3. Отсутствия продувки. 4. Разомкнутого контура испарителя.

4. В прочностных расчетах расчетное давление равно:

1. $P_{расч} = P_{раб}$. 2. $P_{расч} = 2P_{раб}$. 3. $P_{расч} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot P_{раб}$. 4. $P_{расч} = 1,25P_{раб}$.

5. При парообразовании:

1. $\alpha = f(Re, Pr)$. 2. $\alpha = f(q, P)$. 3. $\alpha = f(\lambda, v)$. 4. $\alpha = f(d, w)$.

6. Обтекание трубного пучка газообразным теплоносителем следует выбирать поперечным с целью:

1. Снижения гидравлического сопротивления. 2. Увеличения гидравлического сопротивления. 3. Интенсификации теплообмена. 4. Увеличения параметров пара.

7. ПГ с естественной циркуляцией не может вырабатывать пар сверхкритических параметров так как:

1. $\rho' > \rho''$. 2. $\rho' < \rho''$. 3. $\rho' = \rho''$. 4. Теплота парообразования равна нулю.

8. Указать соответствие скорости изменения нагрузки ПГВ – 1000:

1. $N = 0 - 10\%$ от $N_{ном}$. А. 2 – 15 %/мин.

2. $N = 10 - 70\%$ от $N_{ном}$. Б. 60%/мин.

3. $N = 70 - 100\%$ от $N_{ном}$. В. 3 – 4 %/мин.

9. Количество трубок в трубном пучке выбирают из условия:

1. Давления теплоносителя. 2. Давления рабочего тела. 3. Допустимой скорости теплоносителя или рабочего тела. 4. Режима течения.

10. Характерный параметр кризиса теплообмена первого рода – это:

1. Граничное паросодержание $x_{гр}$. 2. Паросодержание $x_{др}$. 3. Критический тепловой поток. 4. Число Re .

Тест №4

1. Характерный параметр кризиса теплообмена второго рода – это:

1. Граничное паросодержание $x_{гр}$. 2. Паросодержание $x_{др}$. 3. Критический тепловой поток. 4. Число Re .

2. Для прямоточного ПГ с давлением пара 6 – 10 МПа пригодна сталь в качестве материала трубчатки:

1. 12X18Н10Т. 2. 08X14МФ. 3. 12X1МФ. 4. Сталь 20К.

3. Мощность испарителя ПГ равна:

1. $D(i' - i_{пв})$. 2. $D(i'' - i')$. 3. $1,02 \cdot D(i'' - i')$. 4. $D(i_{пп} - i'')$.

4. Мощность экономайзерного участка ПГ равна:

1. $D(i' - i_{пв})$. 2. $D(i'' - i')$. 3. $1,02 \cdot D(i'' - i')$. 4. $D(i_{пп} - i'')$.

5. Мощность пароперегревательного участка ПГ равна:

1. $D(i' - i_{пв})$. 2. $D(i'' - i')$. 3. $1,02 \cdot D(i'' - i')$. 4. $D(i_{пп} - i'')$.

6. Назначение погруженного дырчатого листа в ПГВ – 1000:

1. Повышение паропроизводительности. 2. Повышение параметров пара.

3. Выравнивание паровой нагрузки. 4. Снижение гидравлического сопротивления первого контура.

7. Для снижения теплогидравлической разверки применяется:

1. Интенсификация теплообмена. 2. Снижение гидравлического сопротивления. 3. Повышение параметров пара. 4. Дросселирование потока (шайбование).

8. Движущий напор в ПГ с естественной многократной циркуляцией равен:

1. ρgh . 2. $gh(\rho' - \rho'')$. 3. $gh(\rho' - \rho_{см})$. 4. $gh(\rho'' - \rho_{см})$.

9. Статическая программа регулирования мощности энергоблока с ПГВ – 1000 проекта В-320:

1. Постоянное давление пара. 2. Постоянная средняя температура теплоносителя. 3. Комбинированная. 4. Компромиссная.

10. В газообогреваемых ПГ трубный пучок выполнен из:

1. Прямых трубок. 2. U – образных трубок. 3. Спирально – витых трубок. 4. Ширм.

2.3. Оценочные средства для рубежной аттестации (вопросы для проведения устных опросов)

Раздел 1

1. Как выбирают направление движение сред в ПГ.

Ответ: Среда с большим давлением направляется в пространство с меньшим диаметром, то есть среда с меньшим давлением движется в межтрубном пространстве. При таком техническом решении снижается металлоемкость аппарата из-за снижения толщины стенки корпуса.

2. От каких факторов зависит величина охлаждения теплоносителя в ПГ.

Ответ: От расхода и теплоемкости ТН, тепловой мощности ПГ.

3. От каких факторов зависит расход теплоносителя в ПГ.

Ответ: От тепловой мощности ПГ, теплоемкости и Δt теплоносителя.

Δt теплоносителя зависит от жаропрочности материала оболочки твэлов и от минимального температурного напора в ПГ.

4. Почему ПГ к реакторам БН-600 и БН-800 выполнены секционно - модульными.

Ответ: Для повышения надежности аппаратов, так как предусматривается отключение аварийных секций без останова энергоблока. И по причине больших повреждений ПГ при взаимодействии натрия с водой.

5. Почему в ПГ, как правило, теплоноситель и рабочее тело включены по схеме противотока.

Ответ: При противотоке, больше в сравнении с прямотоком, среднелогарифмический температурный напор, что снижает поверхность теплообмена (трубчатки) и металлоемкость аппарата.

6. В каком случае применяется прямоточная схема включения сред в ПГ.

Ответ: В ПГ обогреваемых высокотемпературным теплоносителем, например гелием, на участке пароперегревателя, что обеспечивает снижение температуры металла трубчатки до допустимого уровня по условию жаропрочности.

7. Почему в ПГВ – 1000 трубчатка выполнена из стали 12Х18Н10Т.

Ответ: Эта сталь коррозионно стойкая по отношению к общей химической коррозии. Продукты коррозии осаждаются на твэлах, что ухудшает теплообмен и способствует росту температуры оболочек и дальнейшему их разрушению. Продукты коррозии могут осаждаться на пэлах и в парогенераторе. В первом случае может произойти заклинивание кластеров, а во втором - повышается уровень радиоактивности ПГ, что усложняет его обслуживание и ремонт.

8. Как обосновано применение стали 08Х14МФ в прямоточных ПГ с давлением пара 6 – 10 МПа взамен стали 12Х18Н10Т.

Ответ: В прямоточном ПГ есть зона до упаривания, где концентрация ионов хлора достигает чрезмерно больших значений. Сталь 12Х18Н10Т подвержена интенсивной межкристаллитной хлоридной коррозии под напряжением, поэтому противопоказана.

9. Как обоснован выбор совмещения экономайзера с испарителем по существу.

Ответ: При таком совмещении вся поверхность трубчатки работает в условиях кипения, что увеличивает коэффициент теплопередачи. Однако, при этом снижается средне-логарифмический температурный напор. Если рост k больше, чем снижение Δt , то следует выбрать совмещение по существу при условии, что выделение экономайзера приведет к увеличению диаметра корпуса и он станет не транспортабельным по железной дороге.

10. В чем состоит преимущество вертикального ПГ в сравнении с горизонтальным, в котором экономайзер и испаритель совмещены по существу.

Ответ: 1. При одинаковом минимальном $\Delta t_{\text{мин}}$ можно увеличить параметры пара. 2. При одинаковых параметрах пара можно уменьшить металлоемкость ПГ за счет увеличения $\Delta t_{\text{мин}}$ и, как следствие, средне-логарифмического температурного напора.

11. Как можно обосновать применение спирально – витых змеевиков.

Ответ: 1. При движении среды в межтрубном пространстве трубчатка обтекается практически поперечно при угле навивки 11 – 15°, что интенсифицирует теплообмен. Это важно для газообразных теплоносителей, отличающихся малым коэффициентом теплопроводности. 2. Обеспечивается практически полная компенсация температурных расширений. 3. Технологичны при изготовлении.

12. Как можно обосновать применение эвольвентных ширм.

Ответ: Такие ширмы более компактны в сравнении с прямыми (радиальными), поэтому меньше диаметр трубного пучка и, как следствие, - диаметр и толщина стенки корпуса. В результате меньше металлоемкость ПГ.

13. Как можно обосновать применение эвольвентных L – образных ширм.

Ответ: 1. Такие ширмы отличаются от традиционных эвольвентных большей технологичностью при изготовлении. 2. Становится возможным применение укороченного коллектора теплоносителя, в результате чего:

- снижается металлоемкость коллектора и ПГ;
- уменьшается масса теплоносителя в 1-ом контуре;
- повышается надежность ПГ, так граница экономайзер – испаритель располагается выше коллектора, а это исключает температурные пульсации металла.

14. Как компенсируется разность термических расширений в ПГ с прямыми трубками и с жестко закрепленными трубными досками в корпусе.

Ответ: Соответствующим выбором конструкционных материалов корпуса и трубчатки и температуры корпуса. Последняя может устанавливаться на требуемом уровне при изменении положения по высоте патрубков пара и питательной воды. При перемещении обоих патрубков вниз температура корпуса растет, а при их перемещении вверх – уменьшается.

15. В чем состоит проблема горизонтальной трубной доски.

Ответ: На доске накапливается железистоокисный шлам, в результате чего происходит упаривание воды второго контура в шламовом слое и, как следствие, повышается концентрация ионов хлора, что способствует межкристаллитной коррозии под напряжением. Коррозия носит электрохимический характер.

Раздел 2

1. В чем состоит преимущество корпусных ПГ.

Ответ: 1. Меньше металлоемкость. 2. Меньше габариты аппарата. 3. Более удобны при обслуживании и ремонте.

2. Недостатки корпусных ПГ.

Ответ: 1. При повреждении ПГ больше снижение мощности энергоблока. 2. Больше габариты единичного ПГ, что может вызвать проблемы при транспортировке и монтаже.

3. В чем состоит преимущество секционных ПГ.

Ответ: 1. Меньше потери мощности при выходе секций из строя. 2. Возможно отключение секций и их ремонт без останова энергоблока. 3. Нет проблем с транспортировкой ПГ.

4. Недостатки секционных ПГ.

Ответ: 1. Больше металлоемкость ПГ. 2. Сложнее условия обслуживания. 3. Больше суммарные габариты ПГ.

5. Конструктивная форма и материал трубчатки ПГВ-1000.

Ответ: 1. U – образные трубки. 2. Коррозионно устойчивая сталь аустенитного класса марки 12X18H10T.

6. Преимущество прямоточных ПГ.

Ответ: 1. Меньше габариты и металлоемкость, что особенно важно для мощных энергоблоков.

2. Могут вырабатывать пар сверхкритических параметров, что обеспечивает снижение тепловых выбросов примерно в 1,5 раза.

3. Не возможны режимы застоя и опрокидывания циркуляции на участке испарителя.

7. Недостатки прямоточных ПГ.

Ответ: 1. Требуется более высокое качество питательной воды, поэтому больше затраты на водоподготовку.

2. Меньше запас воды второго контура в ПГ.

3. Возможен многозначный гидродинамический режим.

4. Имеет место кризис теплоотдачи второго рода.

5. Из-за зоны до упаривания стоит проблема выбора конструкционного материала трубчатки при низких и средних давлениях пара.

8. За счет чего происходит естественная многократная циркуляция.

Ответ: Из-за разности плотностей воды на опускном участке испарителя и пароводяной смеси на подъемном.

9. Почему массовое паросодержание на выходе из испарителя поддерживается на уровне 15%.

Ответ: При таком значении x имеет место пузырьковый режим кипения, отличающийся большим коэффициентом теплоотдачи.

10. Почему кратность циркуляции равна 6 – 8.

Ответ: При таких значениях k в испарителе ПГ происходит пузырьковый режим кипения, отличающийся большим коэффициентом теплоотдачи, что способствует снижению поверхности теплосъема, то есть трубного пучка, в результате чего уменьшаются габариты и металлоемкость аппарата в целом.

11. Каковы количество трубок, поверхность теплосъема и типоразмер теплообменных трубок в ПГВ – 1000.

Ответ: Количество трубок 11000. Поверхность – 6115 м²/ 16x1,5 мм.

12. Каковы паропроизводительность и параметры пара, вырабатываемого в ПГВ – 1000.

Ответ: D= 1460 т/час. P = 6,4 МПа. T = 278 °C.

13. Какие типы трубчатки могут применяться в ПГ.

Ответ: 1. Прямые трубки. 2. U – образные трубки. 3. Спирально-витые трубки. 4. Радиальные (прямые) ширмы. 5. Радиальные ширмы с ширмами - проставками. 6. Эвольвентные ширмы. 7. Эвольвентные L – образные ширмы.

14. Параметры пара, вырабатываемого в парогенераторе к реактору БН – 600.

Ответ: Давление 14 МПа. Температура 505 °C.

15. Тип ПГ к реакторам БН-600 и БН-800, конструктивная форма трубчатки.

Ответ: Прямоточный, секционно – модульный. Прямые трубки.

16. Как компенсируется разность термических напряжений корпуса и трубчатки в БН – 600.

Ответ: Предусмотрены компенсаторы на корпусах всех трех модулей: испарителя, первичного и вторичного (промежуточного) пароперегревателей.

17. Основное отличие парогенераторов БН-600 и БН-800.

Ответ: В парогенераторе БН-800 нет модуля промперегревателя.

18. Преимущество горизонтального ПГ в сравнении с вертикальным.

Ответ: 1. Большой опыт эксплуатации. 2. Больше движущий напор естественной циркуляции, что важно при обесточивании ГЦН. 3. Более удобны при монтаже на станции.

19. Минимально допустимое количество корпусных ПГ.

Ответ: В соответствии с принципом трехкратного резервирования – не менее трех на реактор.

20. Основные технические решения по модернизации ПГВ – 1000.

Ответ: 1. Замена материала коллекторов теплоносителя.

2. Изменен способ заделки трубок в трубные доски: метод взрыва на гидростатическую заделку с последующей механической довальцовкой.

3. Изменена схема водопитания с целью выравнивания паровой нагрузки.

4. Организован солевой отсек на стороне «холодного» днища.

5. Заменен материал трубопроводов питательной воды.

Раздел 3

1. Как рассчитывается поверхность теплосъема ПГ.

Ответ: $F = Q_{ПГ} / k \cdot \Delta t$.

2. Как рассчитывают коэффициент теплоотдачи.

Ответ: С помощью критериальных уравнений, которые выбирают из следующих условий:

1. Характер движения: однофазное, двухфазное (кипение), принудительное или естественное, продольное или поперечное обтекание трубочатки.
2. Геометрия канала: течение в круглых трубах, обтекание труб снаружи, кольцевые каналы и др.
3. Природа среды: вода, газы, жидкие металлы.

3. Как рассчитывают смоченный периметр.

Ответ: Смоченный периметр определяется как сумма отдельных периметров элементов ПГ, омываемых средой. Например, для круглого канала с продольно расположенными в нем десятью трубками периметр равен сумме периметров 10-ти трубок и самого канала: $\Pi = \pi \cdot d_k + 10\pi \cdot d_{тр}$.

4. Из каких гидравлических сопротивлений суммируются потери напора.

Ответ: 1. Сопротивление трения. Сопротивление местное. Сопротивление ускорения. Нивелирное сопротивление.

5. Как рассчитывается сопротивление трения при однофазном потоке.

Ответ: $\Delta P_{тр} = \xi_{тр} \cdot L \cdot \rho \cdot w_2^2 / 2$. Коэффициент трения $\xi_{тр}$ зависит от отношения шероховатости поверхности канала и его радиуса. Шероховатость, в свою очередь, зависит от материала трубопровода (канала).

6. Как рассчитывают местное сопротивление при однофазном потоке.

Ответ: $\Delta P_m = \xi_m \cdot \rho \cdot w_2^2 / 2$. В формуле коэффициент местного сопротивления ξ_m зависит от геометрии канала: внезапное расширение или сужение, поворот, арматура и др.. Скорость указывается в справочнике по сопротивлениям. Это скорость, по которой определялся ξ_m по экспериментальным данным.

7. По каким характеристикам механической прочности определяется допустимое напряжение в прочностных расчетах при статическом нагружении.

Ответ: По пределу прочности σ_b и пределу текучести $\sigma_{0,2}$.

8. Как рассчитывается толщина стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним давлением.

Ответ: $S = P_{расч} \cdot D / \sigma \cdot \varphi \pm p_{расч}$.

9. Как рассчитывается расчетное давление в прочностных расчетах.

Ответ: $P_{расч} = P_{раб} \cdot 0,9 \cdot 1,25$.

10. Как рассчитывается α при смешанном обтекании трубчатки.

Ответ: Как средневзвешенное значение: $\alpha = \alpha_{прод} \cdot F_{прод} + \alpha_{поп} \cdot F_{поп} / F_{прод} + F_{поп}$.

11. Как определяют коэффициент прочности ϕ для коллекторов.

Ответ: Рассчитывают три значения ϕ : для продольного шага отверстий, поперечного шага и в диагональном направлении. Выбирают меньшее из трех значений.

12. От каких факторов зависит сопротивление трения при однофазном и турбулентном режиме течения.

Ответ: 1. Скорости среды. 2. Плотности (удельного объема) среды. 3. Длины канала (трубопровода). 4. Шероховатости стенки канала. 5. Диаметра канала.

13. 12. От каких факторов зависит местное сопротивление при однофазном и турбулентном режиме течения.

Ответ: 1. От скорости среды. 2. Плотности (удельного объема) среды. 3. Вида сопротивления (поворот, сужение и др.).

14. Как определяется энтальпия и теплофизические характеристики питательной воды и теплоносителя парогенераторов к реакторам ВВЭР.

Ответ. По таблицам воды и перегретого пара справочника по теплофизическим свойствам воды и водяного пара в зависимости от температуры и давления соответственно ПВ и ТН.

15. Как определяется энтальпия и теплофизические характеристики воды и пара в состоянии насыщения.

Ответ: По таблицам воды и пара в состоянии насыщения справочника по теплофизическим свойствам воды и водяного пара в зависимости от температуры или давления.

Раздел 4.

1. Какой контур циркуляции называют сложным.

Ответ: Контур, в котором его звенья (каналы) работают в разных условиях (геометрия, тепловые потоки). В таком контуре скорость циркуляции в каналах может значительно отличаться.

2. Какой контур циркуляции называют простым.

Ответ: В таком контуре все звенья соединены последовательно. Иначе скорость циркуляции в парогенерирующих каналах одинаковая.

3. За счет чего происходит циркуляция среды в замкнутых контурах.

Ответ: Из-за разности плотностей воды на опускном участке и плотности пароводяной смеси на подъемном участке (испарителе). Возможна комбинированная циркуляция, когда на опускном участке устанавливают насос.

4. За счет чего происходит циркуляция среды в разомкнутых контурах.

Ответ: За счет напора, создаваемого ПЭН или ТПН.

5. На примере ПГ укажите замкнутые и разомкнутые контуры.

Ответ: В прямоточном ПГ все контуры (экономайзер, испаритель и пароперегреватель) разомкнутые. Замкнутый контур имеет место в ПГ с естественной многократной циркуляцией и это испаритель.

6. Критерий надежности контура естественной циркуляции по опрокидыванию.

Ответ: Напор опрокидывания для разверенных труб должен быть равным или большим в 1,15 раза полезного напора контура.

7. Критерий надежности контура естественной циркуляции по застою.

Ответ: Напор застоя для разверенных труб должен быть равным или большим в 1,15 раза полезного напора контура.

8. Какая из скоростей и почему не изменяется по длине парогенерирующего канала: приведенная скорость воды, скорость циркуляции, приведенная скорость пара.

Ответ: Скорость циркуляции, что следует из ее определения:

$w_0 = D \cdot v' / f$. По длине парогенерирующего канала паропроизводительность D , удельный объем насыщенной воды v' и проходное сечение не изменяются.

9. Какие технические решения применяются для повышения надежности контура естественной циркуляции.

Ответ: 1. Снижение гидравлического сопротивления опускного участка.

2. Секционирование парообразующих панелей.

10. Какие технические решения применяются для повышения надежности разомкнутого испарителя (прямоточный ПГ).

Ответ: 1. Ограничивают недогрев воды до насыщения на входе в испаритель.

2. Применяют шайбование труб, например в модуле испарителя ПГ к реактору БН-600.

11. Какие технические решения применяют для исключения пульсационных режимов.

Ответ: 1. Устанавливают массовую скорость в разверенных трубах больше граничной, которая определяется по номограммам в зависимости от расположения, вертикального или горизонтального, трубчатки.

2. Применение дроссельных шайб.

12. Технические решения для снижения теплогидравлической разверки.

Ответ: 1. Шайбование.

2. Ограничение увеличения энтальпии потока за счет ступенчатого нагрева с перемешиванием среды после ступеней (панелей).

3. Переброс среды из периферийных панелей в центральные и наоборот.

4. Изменение местоположения внешних и внутренних труб в пределах ширм.

5. Равномерная раздача среды по трубкам за счет соответствующего отношения скоростей среды в коллекторе и в отдельных трубках.

13. Критерий надежности разомкнутого парогенерирующего канала.

Ответ: $V_2 \leq 2,57 AC$.

14. Какое влияние оказывает нивелирное сопротивление на гидродинамическую характеристику разомкнутого парогенерирующего контура.

Ответ: При подъемном движении характеристика улучшается (становится более крутой), а при опускном – ухудшается.

15. Какое влияние оказывает местное сопротивление на гидродинамическую характеристику разомкнутого парогенерирующего контура.

Ответ: Характеристика улучшается, то есть становится более крутой. На этом основании применяется дроссельное шайбование.

4. Практические работы

Практические работы выполняются по индивидуальным заданиям по всем темам рабочей программы.

Для текущего контроля успеваемости используются различные виды тестов, контрольные задачи, устные опросы, защита расчетного задания, защита курсового проекта.

Аттестация по дисциплине – экзамен.

Оценка за освоение дисциплины, определяется как оценка за экзамен.

Критерии оценки знаний при устном опросе и решении задач на практических занятиях:

<i>Качество ответа при устном опросе и решении задач</i>	<i>Оценка</i>
90 – 100 %	«отлично»
75 – 89 %	«хорошо»
60 – 74 %	«удовлетворительно»
0 – 59 %	«неудовлетворительно»

В конце освоения дисциплины студент сдает экзамен, где ему предлагается ответить в устной форме на три вопроса из приведенного ниже списка

Вопросы к экзамену в 7 семестре и экзамену в 8 семестре

1. Назначение и место ПГ в схеме АЭС.
2. Классификация ПГ.
3. Требования, предъявляемые к ПГ.
4. Основные конструктивные элементы ПГ и их назначение.

5. Сравнительный анализ прямоточного ПГ и ПГ с естественной многократной циркуляцией.
6. Теплофизические свойства воды и их влияние на конструкцию ПГ.
7. Теплофизические свойства жидкометаллического натрия и их влияние на конструкцию ПГ.
8. Теплофизические свойства гелия и их влияние на конструкцию ПГ.
9. Конструкции ПГ, обогреваемых водой.
10. Конструкции ПГ, обогреваемых натрием.
11. Конструкции ПГ, обогреваемых гелием.
12. Горизонтальный ПГ к ВВЭР-1000. Недостатки проекта, модернизация.
13. Конструкции вертикальных ПГ, обогреваемых водой.
14. Сравнительный анализ горизонтального и вертикального ПГ.
15. Сравнительный анализ вертикальных ПГ с различным подводом питательной воды (подвод сверху, подвод снизу).
16. $t - Q$ диаграмма ПГ, обогреваемого водой: горизонтального, вертикального с ЕМЦ с подводом ПВ сверху, с подводом ПВ снизу, прямоточного.
17. $L - Q$ диаграмма ПГ к реактору БН - 600.
18. Совмещение экономайзера с испарителем по существу. Выбор варианта совмещения.
19. Выбор направления движения сред.
20. Выбор величины охлаждения теплоносителя.
21. Выбор минимального температурного напора в ПГВ-1000.
22. Критерии выбора материала трубчатки.
23. Критерии выбора типоразмера трубчатки.
24. Критерии выбора конструкционных материалов трубчатки.
25. Выбор конструктивной формы трубного пучка.
26. Классификация режимов течения двухфазных потоков.
27. Расходные и истинные характеристики двухфазного потока.
28. Критерии гидродинамической надежности замкнутого контура ПГ.
29. Критерии гидродинамической надежности разомкнутого контура ПГ.
30. Способы повышения гидродинамической надежности парогенерирующих каналов.
31. Виды теплогидравлической неустойчивости ПГ.
32. Проверка ПГ на кризис теплоотдачи.
33. Кризис теплоотдачи и причины его возникновения.
34. Задачи и особенности теплового расчета ПГ.
35. Задачи и особенности вариантного теплогидравлического расчета ПГ. Методика уточненного теплового расчета ПГ.

36. Методика расчета нестационарных теплогидравлических процессов.
37. Основные критерии подобия, характеризующие теплогидравлические процессы.
38. Расчет гидравлических сопротивлений при течении однофазных потоков.
39. Расчет гидравлических сопротивлений при движении двухфазных потоков.
40. Графо-аналитический метод расчета сложного замкнутого контура.
41. Теплогидравлическая разверка, причины ее возникновения и способы снижения.
42. Влияние теплогидравлической разверки на надежность ПГ.
43. Требования технологического регламента при работе ПГВ-1000 на номинальной мощности.
44. Требования технологического регламента при работе ПГВ-1000 при переходных режимах.
45. Водно-химический режим ПГВ-1000. Нормируемые и диагностические показатели качества питательной и продувочной воды.
46. Меры, предусмотренные регламентом при отклонении нормируемых показателей качества питательной и продувочной воды.
47. Функциональное назначение водного режима второго контура.
48. Основные виды коррозии, характерные для ПГ.
49. Элементы ПГ, наиболее подверженные повреждениям под воздействием примесей в рабочей среде.
50. Основные составляющие примесей в воде ПГ, активизирующие коррозионные процессы внутри ПГ.
51. Нижний и верхний пределы рН питательной воды ПГ при мощности блока менее 50% номинальной.
52. Системы обеспечения и методы поддержания ВХР второго контура.
53. Условия перехода основного регулятора производительности (ОРП) из стерегущего режима в режим поддержания уровня в ПГВ-1000.
54. Уравнение теплового баланса парогенераторной установки.
55. Инструментарий и метод определения уровня воды в ПГВ-1000. Понятие физического и массового уровня.
56. Условия, при которых ОРП включается в стерегущий режим.
57. Номинальный расход насосов аварийной подпитки ПГВ-1000. Откуда поступает вода?
58. В каких случаях предусмотрено автоматическое включение аварийной подпитки ПГ.
59. Алгоритм работы системы второго контура от превышения давления.
60. Пределы и условия безопасной эксплуатации по системе ТХ (аварийной питательной воды).

61. Условия заполнения второго контура применительно к ПГВ-1000.
62. Перечислить ТЗ и Б по изменению уровня в ПГВ-1000.
63. Перечислить ТЗ и Б по изменению давления в паропроводе ПГВ-1000..
64. Условия готовности ПГВ-1000 перед толчком турбины.
65. Требования при плановом останове ПГВ-1000.
66. Требования при аварийном останове ПГВ-1000.
67. Системы, связанные с ПГВ-1000, их назначение.
68. Мероприятия, выполняемые при выводе ПГВ-1000 в ремонт.
69. Пуск и разогрев ЯШ ГУ.
70. Останов и расхолаживание ЯППУ с ВВЭР - 1000.
71. Классификация и схемы включения регенеративных подогревателей. Схема Рикара – Никольного. Схема Виолена.
72. Конструктивные формы ПНД. Конструкционные материалы, типоразмер и конструктивные формы трубчатки.
73. Конструкция ПНД смешивающего типа.
74. Интенсификация теплообмена в ПНД по стороне греющего пара и по стороне конденсата.
75. ПНД: схемы отвода неконденсирующихся газов.
76. Схемы включения ПВД.
77. Конструктивные формы ПВД и поверхности теплосъема.
78. Схема движения греющего пара и конденсата в ПВД.
79. Конструкция камерного ПВД с плоскими спиралями.
80. Конструкция ширмового ПВД с радиальными и эвольвентными ширмами.
81. Рекомендации по конструированию регенеративных подогревателей.
82. Конструкционные материалы, применяемые в регенеративных подогревателях.
83. Назначение и принцип работы деаэраторов. Закон Генри.
84. Классификация деаэраторов и их назначение.
85. Конструктивные формы деаэраторов.
86. Конструкция деаэратора повышенного давления.

Критерии оценки знаний по дисциплине:

Итоговая сумма баллов	Оценка по 4-бальной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS	Градация
90-100	отлично	зачтено	A	отлично
85-89	хорошо		B	очень хорошо
75-84			C	хорошо
70-74			D	удовлетворительно
65-69	удовлетворительно		E	посредственно
60-64			F	неудовлетворительно
ниже 60	неудовлетворительно	не зачтено	F	неудовлетворительно

«Отлично» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

«Очень хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному.

«Хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

«Удовлетворительно» - теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

«Посредственно» - теоретическое содержание курса освоено частично, некоторые практические навыки работы не сформированы, многие предусмотренные программой обучения учебные задания не выполнены, либо качество выполнения некоторых из них оценено числом баллов, близким к минимальному.

«Неудовлетворительно» - теоретическое содержание курса освоено частично, необходимые практические навыки работы не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, либо качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному; при дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения учебных заданий.