**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **УТВЕРЖДАЮ**  Проректор по НР и И  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дьяченко А.Н.  «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2014 г. |

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

Кандидатского экзамена по профилю

**01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника**

Основная образовательная программа подготовки аспирантов

по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Томск 2014

**Введение**

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации комиссии по энергетике, электрификации и энергетическому машиностроению при участии Московского энергетического института (ТУ).

1. **Тепловая часть электростанций**

Перспективные направления развития энергетики России до 2020 года.Особенности технологического процесса функционирования тепловых электрических станций различного типа. Вопросы экологии при эксплуатации электростанций.

Графики нагрузки тепловых электрических станций и их регулирование. Влияние роста единичной мощности парогенераторов, паровых турбин, паротрубопроводов и тепловых сетей.

Особенности структуры главных схем и схем собственных нужд электростанций различного типа. Эксплуатационные характеристики теплоэнергетического оборудования, методика их выбора. Конструктивные особенности парогенераторов, турбин, методика их выбора. Вспомогательное оборудование и методика их выбора.

Основные характеристики автоматизированных систем управления (АСУ). Принципы создания автоматизированных диагностических систем.

**2. Режимы работы основного оборудования тепловых и атомных электростанций**

Режимы работы основного теплоэнергетического оборудования. Методика анализа режимов их работы в нормальных и экстремальных условиях.

Режимы работы автономных электро-теплоустановок на возобновляемом биосырье для надежного энергообеспечения малых поселений; со схемой соломосжигательного водогрейного котла с производительностью 535 кВт; основными технико-экономическими показателями двигателей, используемых в когенерационных установках (без учета стоимости утилизаторов теплоты). Современные технологии и режимы в энергетике: атомная, водородная энергетика.

**3. Проектирование электростанций**

Основы проектирования электростанций. Состав и основные характеристики систем автоматизированного проектирования (САПР) тепловых электрических установок.

Проектирование главной электрической схемы.

Методы оценки технико-экономических показателей и надежности тепловых схем энергетического оборудования.

**4. Теплоэнергетические системы и сети**

Основные сведения об истории развития энергетики. Особенности развития энергетики в условиях рыночной экономики. Энергетика как большая система.

Модели оптимального развития энергосистем. Системный подход. Общий критерий оптимального развития. Виды представления информации. Иерархическое построение энергосистем. Основные типы задач развития теплоэнергетических систем. Методы прогнозирования их развития.

Особенности оптимизации структуры энергосистемы при ее проектировании и развитии (структура и размещение электростанций, структура тепловых сетей).

Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: линейное и нелинейное математическое программирование, транспортный и симплексный алгоритмы, динамическое программирование, метод границ и ветвей, градиентный метод, метод штрафных функций, критериальный анализ технико-экономических задач энергетики.

**5. Пути снижения энергоемкости ВВП**

5.1. Общая характеристика и значение современных проблем теплообмена в теплоэнергетике.

Анализ состояния теплоэнергетики России и зарубежных стран. Оценка конкурентоспособности жидких синтетических топлив из угля и природного газа в условиях роста цен на нефть. Автономные электро-теплоустановки на возобновляемом биосырье для надежного энергообеспечения малых поселений.

5.2. Преимущества газификации

Вовлечение в энергобаланс ресурсов низкосортных топлив (тощих и соленых углей, древесины, лигнина и др.). Децентрализованное энергоснабжение. Снижение себестоимости производства энергии при замещении жидких топлив. Снижение выбросов в атмосферу. Пути для энергосбережения или перерасхода теплоты.

5.3. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ВВП

Структурная перестройка экономики (увеличение доли накоемких и мало энергоемких производств). Энергосбережение и его роль в темпах роста национальной экономики. ВВП и душевое энергопотребление.

5.4. Современные схемы паровых и водогрейных котлов на крупных тепловых электростанциях и в отопительных котельных.

Безмазутный розжиг и подсветка топки с использованием ультратонкого размола угля и его плазменноного воспламенения. Схема организации сжигания угольной пыли ультра иелкого размола. Лабораторный стенд Института теплофизики СО РАН для исследования процессов сжигания угля.

**6. Экстремальные условия теплообмена**

Общая характеристика и значение экстремальных условий теплообмена в теплоэнергетике.

Нестационарные температурные режимы в тепловыделяющих элементах (ТВЭЛов). Анализ различных методов интенсификации теплообмена. Расчет циркуляции воды в парогенераторах. Теплоотдача жидких металлов. Теплообмен в топочном пространстве котла. Интенсификация теплопередачи в условиях сложного теплообмена.

Государственный образовательный стандарт не содержит федеральных составляющих требований к данной дисциплине. Программа подготовки определяется региональными и университетскими требованиями. В соответствии с региональной компонентной в рамках дисциплины аспирант должен ознакомиться с: методами определения критического теплового потока при кипении жидкости в условиях свободной конвекции; установлением зависимости критического теплового потока от размеров тепловыделяющей поверхности при кипении насыщенной жидкости, недогретой до температуры насыщения; основными характеристиками пленочного кипения; теплообменом при вынужденном течении кипящей жидкости в трубах и каналах; температурными режимами тепловыделяющих и неактивных элементов, состоящих из произвольного числа слоев канонической формы; методами расчета нестационарного теплообмена при испарении и кипении; кризисами кипения и определения допустимых тепловых нагрузок; методами расчета лучистого теплообмена при наличии запыленных газовых потоков; условиями, при которых возникает застой или опрокидывание циркуляции пароводяной смеси в обогреваемой трубе.

6.1. Общая характеристика и значение экстремальных условий теплообмена в теплоэнергетике.

Основные понятия: максимальная температура тепловыделяющего элемента, допустимое тепловыделение, допустимая плотность теплового потока, критический диаметр тепловой изоляции трубопровода, допустимая тепловая нагрузка, разрешенное давление в парогенераторе. Анализ причин аварий котельных агрегатов, аварии на Чернобыльской АЭС с точки зрения теплообмена.

6.2. Нестационарные температурные режимы тепловыделяющих элементов

Примеры нестационарных тепловых режимов различных элементов энергетического оборудования при изменении параметров во времени (давление, температура, расход пара, топлива и т.д.). На основе уравнения теплового баланса для термически тонкого тепловыделяющего элемента и заданном начальном законе распределения температуры приведите вывод решений задачи с прерывистой во времени тепловой нагрузкой.

Пути для энергосбережения или перерасхода тепла. На основе понятия коэффициента температуропроводности излагается простой инженерный метод оценки теплового режима ТВЭЛов при малых числах Фурье. Преимущества и недостатки операционного метода Лапласа при решении подобных задач.

6.3. Анализ различных методов интенсификации теплообмена

Многослойная система, состоящая из произвольного числа тепловыделяющих и неактивных элементов, у которых функция тепловыделения может изменяться от координаты. Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, которая описывает одномерную стационарную теплопроводность при заданных граничных условиях Ш и IV родов для тел канонической формы (пластина, цилиндр, шар). Анализ связи между максимальной температурой ТВЭЛа и ее значение на поверхности. Приведите различные примеры с точки зрения снижения максимальных температур: или перераспределения внутренних источников теплоты, или выбора геометрической формы и размеров тела, выбора соответствующих материалов, или интенсификации теплообмена.

6.4. Расчет циркуляции воды в парогенераторах

Общие положения. Гидродинамические характеристики обогреваемых поверхностей. Сформулируйте основные задачи гидравлического расчета парогенераторов: обеспечение надежности в работе нагрева, их рациональная компоновка, разработка мероприятий по уменьшению выхода из строя отдельных элементов, определение суммарной потери давления для подбора питательных насосов.

Анализ влияния неравномерности обогрева, местных сопротивлений нивелирного напора на гидродинамические характеристики исследуемого контура. Построение гидродинамических характеристик для различных компоновок парогенерирующих поверхностей. Физическое представление гидравлической и тепловой разверки. Особенности расчета принудительной циркуляции в элементах парогенераторов. Особенности гидравлических расчетов водяных экономайзеров.

* 1. Теплоотдача жидких металлов

Физические свойства жидких металлов и их применение в атомной энергетике. Особенности расчета теплообмена. Получение критериальных уравнений. Критические тепловые нагрузки.

6.6. Теплообмен излучением в топочном пространстве котельного агрегата

Особенности лучистого теплообмена в рассеивающей и поглощающей газовой среде. Уравнение теплового баланса лучистой энергии в топке котельного агрегата. Приближенный метод расчета максимальной температуры в топочном пространстве. Значение нормативного метода теплового расчета котельного агрегата (Издание ЦКТИ, 1999 г.).

6.7. Интенсификация теплопередачи в условиях сложного теплообмена

Температурные режимы работы парогенерирующих установок. Теплоотдача жидких металлов.

Физические свойства жидких металлов и их применение в атомной энергетике. Особенности расчета теплообмена. Получение критериальных уравнений. Критические тепловые нагрузки.

6.8. Теплообмен излучением в топочном пространстве котельного агрегата

Особенности лучистого теплообмена в рассеивающей и поглощающей газовой среде. Уравнение теплового баланса лучистой энергии в топке котельного агрегата. Приближенный метод расчета максимальной температуры в топочном пространстве. Значение нормативного метода теплового расчета котельного агрегата (Издание ЦКТИ, 1999 г.).

6.9. Интенсификация теплопередачи в условиях сложного теплообмена

Температурные режимы работы парогенерирующих поверхностей и их конструктивное оформление: теплоотдача при пузырьковом и пленочном кипении; кризис кипения в парогенерирующих трубах; расслоение пароводяной смеси и его влияние на тепловое состояние труб. Влияние отложений на работу оборудования. Нестационарные режимы работы барабанных парогенераторов.

**7. Рекомендуемая литература**

**А. Основная**

А1. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках /В.И.Субботин, М.Х.Ибрагимов, П.А.Ушаков и др.. –М.: Атомиздат, 1975. –408 с.

А2. Стырикович М.А., Мартынова О.И., Миропольский З.Д. Процессы генерации пара на электростанциях. –М.: Энергия, 1969.

А3. Лебедев И.К. Расчет циркуляции воды в парогенераторах. –Изд.-во ТПИ, 1981.

А4. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. –М.: Энергоатомиздат, 1986.

А5. Невский А.С. Лучистый теплообмен в печах и топках. –М.: Металлургия, 1971.

А6. Нормы теплового расчета котельного агрегата (1973 г.) –М.-СпБ.-1999.

**Б. Дополнительная**

Б1. Уонг Х. Основныек формулы и данные по теплообмену для инженеров. Справочник. –М.: Атомиздат, 1979. –212 с.

Б2. Куландин А.А., Тимашев С.В., Кузьмин М.А. Энергетические системы космических аппаратов. –М.: Машиностроение, 1991. –440 с.

Б3. Панкратов Г.П. Сборник здач по теплотехнике. –М.: Высш.шк., 1995. –238 с.

Б4. Интенсификация теплообмена: Успехи теплопередачи./ Ю.В.Вилемас, Г.И.Воронин, Б.В.Дзюбенко и др.; Под ред. проф.А.А.Жукаускаса и проф. Э.К.Калинина. –Вильнюс: Мокслас, 1988. –188 с.

Б5. Теоретические основы теплотехники. /Под ред. В.А. Григорьева и В.М.Зорина. Книга 2. –М.: Энергоатомиздат, 1988. –559 с.

Б6. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы)/ Под общ.ред.П.Л.Кириллова. –М.: Энергоатомиздат, 1984.

Б7. Нестационарный теплообмен/В.К.Кошкин, К.Калинин, Г.А.Дрейцер и др. –М.: Машиностроение, 1973.

Б8. Логинов В.С. Температурное поле твэла. Часть I// Изв.вуз.Электромеханика, 1994, №1-2. –С.101-104; Часть II. –1994, №3-4. –С.100-105.

Б9. Дорохов А.Р., Заворин А.С., Казанов А.М., Логинов В.С. Моделирование тепловыделяющих систем. –Томск: Изд-во НТЛ, 2000. –234 с.

Б10. Логинов В.С., Озерова И.П. Нестационарная пленочная конденсация пара на вертикальной стенке// Известия Томского политехнического университета. Т.306, №6, 2003.

Б11. Логинов В.С. Приближенные зависимости для расчета нестационарного температурного поля в импульсном термоэлектрогенераторе // Известия Томского политехнического университета. Т.306, №5, 2003. –С.54-55.

Б.12. Логинов В.С. Приближенные методы теплового расчета активных элементов электрофизических установок. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2009.- 264 с.

**Примеры итогового контроля аспиранта**

|  |  |
| --- | --- |
| TPU logo-grayscale2 | *Государственная итоговая аттестация аспирантов*  ***Кандидатский экзамен***  ***Для аспирантов по научной специальности* 01.04.14**  ***«Теплофизика и теоретическая теплотехника»*** |
| **Задание №2** |

**2.1)** На рис. 1 и 2 представлены схема и действительный цикл парогазовой установки.



ВК

ПТ

ГТ1

воздух

КС1

ГТ2

газы

ГВТ

КС1

ЭГ

~

топливо

топливо

КС2

ЭГ

~

Н

К

Рис. 1 Рис. 2

Обозначения : ВК - воздушный компрессор, КС1, КС2 - камеры сгорания, Г Т1, Г Т2 - газовые турбины, ГВТ - газоводяной теплообменник, ПТ - паровая турбина, К - конденсатор, ЭГ - электрогенератор, Н - насос.

В газоводяном теплообменнике за счет тепла газов, отработавших в турбине, нагревается вода до температуры t12.

Параметры рабочего тела в узловых точках действительного цикла.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Точки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Параметры |  |  |  |  |  |  |
| P,бар | 0.98 | 9.50 | 9.20 | 3.14 | 3.09 | 1.04 |
| t, 0C | 17 | 305.7 | 1273 | 958 | 1273 | 983 |
| h, кДж/кг | 290.3 | 584.8 | 1691.8 | 1315 | 1691.8 | 1285 |
| S, кДж/кг К | 6.669 | 6.7206 | 7.8392 | 7.8757 | 8.1532 | 8.1715 |
| Точки | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Параметры |  |  |  |  |  |  |
| P,бар | 1.01 | 2.94 | 0.034 | 0.034 | 372 | 343 |
| t, 0C | 148 | 1000 | 26.4 | 26.4 | 31 | 550 |
| h, кДж/кг | 422.43 | 4520 | 2513.4 | 110 | 165 | 322.5 |
| S, кДж/кг 0С | 7,0362 | 7,2984 | 8,4079 | 0,3860 | 0,4413 | 5,9330 |

Задание:

1. Начертить схему установки и нанести цифры, соответствующие узловым точкам действительного цикла.

2. Для действительного цикла парогазовой установки рассчитать относительный расход газа (m = Gг/Gп, кг газа/кг пара), подводимую теплоту (q1, кДж/кг пара), внутреннюю работу цикла (ℓi, кДж/кг пара), внутренний кпд цикла (ηi).

3. Рассчитать степень сухости пара в состоянии 9 и внутренний относительный кпд паровой турбины (ηтоi).

4. В конденсаторе парогазовой установки водяной пар конденсируется при давлении P9 на поверхности труб, внутри которых движется охлаждающая вода.

Расход пара Gп = 10 т/ч, относительный расход охлаждающей воды

m = Gв/Gп = 57,5 кг воды / кг пара, температура воды на входе в конденсатор t`в = 8 0.

Определить теплоту , передаваемую от конденсирующегося пара к воде (Q, кВт), температуру воды на выходе из конденсатора (t``в) и площадь поверхности теплообмена конденсатора (F, м2), если средний коэффициент теплопередачи от пара к воде через стенку трубы К = 3500 Вт/м2 0С.

**2.2)** Газоводяной теплообменник – шахматный пучок оребренных труб,

омывается поперечным потоком дымовых газов. Средняя температура газов,  наружный диаметр труб *d* = 40 мм, размеры поперечных прямоугольных ребер постоянной толщины 150х200х5 мм, шаг ребер *u* = 15 мм, средняя температура поверхности труб .

Рассчитать тепловой поток (*Q*, Вт/м), передаваемый от газов к 1 м длины оребренной трубы.

*Примечание.* Коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к оребренной трубе рассчитывается по уравнению

.

Для прямоугольных поперечных ребер шахматного пучка С = 0,205,

*n* = 0.65, *lr* – условная длина прямоугольного ребра.

**2.3)** Закон распределения ошибок. Оценка меры точности и средней квадратичной ошибки отдельных измерений.

**2.4)** Физическое моделирование теплотехнических систем.

**2.5)** Численное дифференцирование.

**2.6)** Кинетические и диффузионные пламёна. Поля температур и концентраций.

**2.7)** Эксергетический метод анализа эффективности теплоэнергетических установок.

**2.8)** Метод Зейделя решения систем трансцендентных уравнений.

Научный руководитель программы

аспирантской подготовки, д.ф.-м.н. В.С. Логинов

|  |  |
| --- | --- |
| TPU logo-grayscale2 | *Государственная итоговая аттестация аспирантов*  ***Кандидатский экзамен***  ***Для аспирантов по научной специальности* 01.04.14**  ***«Теплофизика и теоретическая теплотехника»*** |
| **Задание №3** |

3.1) На рисунке приведена система из трех сетевых подогревателей , в которых нагревается вода за счет тепла теплофикационных отборов пара из турбины.

G3

G2

G1

1

2

3

5

4

6

Gв

горячаявода

вода

Расходы отборов пара G1 = 74,6 кг/с, G2 = 46,4 кг/с, G3 = 41,6 кг/с.

Параметры пара и воды

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состояние | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Параметры |  |  |  |  |  |  |
| Р,бар | 1 | 2,4 | 4,4 | 6,0 | 6,0 | 0,9 |
| t, 0C | 230 | 330 | 410 | 50 | 140 | 50 |
| h, кДж/кг |  |  |  |  |  |  |
| S, кДж/кг ⋅ K |  |  |  |  |  |  |

Задание

1. Рассчитать:

1. значения h и S для состояний 1-6 и занести в таблицу ;

б)рассчитать суммарную теплоту (Q, кВт), отводимую от пара в трех

сетевых подогревателях, и расход воды (Gв), нагреваемой в них. Представить в Т-S диаграмме процессы отвода тепла 1-6, 2-6, 3-6.

3.2) В сетевом подогревателе на стальных трубках (λ = 46,5 Вт/м ⋅°С) с толщиной стенки δ = 4 мм конденсируется сухой насыщенный пар при давлении P =1 бар.

Внутри труб нагревается вода (= 70 0С).

Коэффициенты теплоотдачи от пара к поверхности

α1= 13000 Вт/м2  ⋅°С, от поверхности к воде α2=3500 Вт/м2 ⋅°С.

На поверхностях трубок со стороны воды - слой накипи толщиной 2 мм, со стороны пара - слой ржавчины толщиной 1 мм, (λнак = 1,75 Вт/м⋅0С, λрж = 1,15 Вт/м ⋅ 0С). Определить плотность теплового потока через стенку трубы (q, Вт/м2) и температуры на поверхностях всех слоев. Показать изменение температуры по толщине слоев в масштабе.

Примечание. Кривизной трубки пренебречь.

3.3) Получение чисел подобия на основе анализа размерностей.

3.4) Цели и задачи физического эксперимента.

3.5) Экологические аспекты горения топлива.

3.6) Методы стабилизации пламени в горелочных устройствах.

3.7) Метод Зейделя решения систем трансцендентных уравнений.

3.8) Численное дифференцирование.

Научный руководитель программы

аспирантской подготовки, д.ф.-м.н. В.С. Логинов

**Региональная и вузовская компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется соискателю научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

Направления и темы научных исследований ТПУ по специальности 01.04.14, предлагаемые для диссертационных работ.

**1. Разработка приближенных аналитических методов решения задач сложного теплообмена с внутренними источниками теплоты**

Исследования по этой теме направлены на разработку, создание и применение программных продуктов сложных тепловыделяющих систем, предназначенных для их экспресс-анализа теплового состояния.

Для реализации этого направления необходимо решение ряда задач:

- разработку физико-математической модели тепловыделяющей системы;

- ее численное моделирование на ЭВМ;

- Анализ полученных данных и сопоставление с известными опытными данными;

- разработку приближенного аналитического метода решения краевой задачи с внутренними источниками теплоты;

- установление области значений применимости полученного приближенного решения;

- разработка инженерного метода теплового расчета на примере конкретного энергетического или электрофизического оборудования

**2. Термомеханические процессы в индукционном ускорителе заряженных частиц**

Целью исследований по этой теме является создание моделей процессов, происходящих в активных частях бетатрона с импульсным питанием током повышенной частоты и выбор рациональных по нагреву режимов его работы.

В частности:

- построение математической модели, учитывающей неравномерное распределение в пространстве и времени внутренних источников теплоты;

- разработка экспресс-анализа теплового состояния активных частей ускорителя для определения координат максимальной температуры;

- пути интенсификации теплообмена;

- разработка инженерного метода теплового расчета электромагнита с импульсным питанием током повышенной частоты;

- внедрение полученных результатов в учебный процесс вуза и конкретного научно-исследовательского института

**3. Моделирование тепловыделяющей системы на примерах трубопровода с произвольно разрушенными участками тепловой изоляции и произвольным числом охлаждающих каналов в электромагните бетатрона**

Данная тема предполагает решение следующих задач:

- разработка нового приближенного метода решения краевой задачи с внутренними источниками теплоты на начальной стадии теплового процесса (при малых числах Фурье Fo<0,01);

- разработка обобщенной физико-математической модели с произвольно разрушенными участками тепловой изоляции в трубопроводе и произвольным числом охлаждающих каналов в электромагните;

- численное моделирование и анализ полученных результатов с выявлением области параметров, при которых возможно использование предлагаемой методики расчета;

- разработка инженерного метода экспресс- анализа утечки теплоносителя при гидравлических испытаниях трубопровода;

- интенсификация теплообмена при минимальном числе охлаждающих каналов в электромагните.

- внедрение полученных результатов на промышленном предприятии и в учебном

процессе.

Новые темы диссертационных исследований возникают по мере работы с научными и производственными коллективами, с которыми связан научный руководитель аспирантской подготовки.

Программа подготовки научно-педагогических и научных кадров составлена на основе программы кандидатского экзамена по специальности 01.04.14, утвержденной приказом Минобрнауки России № 274 от 08.10.2007 года.

Дополнительная программа утверждена Ученым советом ЭНИН протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_ 2014 года.

Составитель: научный руководитель программы аспирантской подготовки В.С. Логинов.