Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Кафедра математического обеспечения систем

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Математические модели физических процессов в ядерных энергетических установках (дополнительные главы)**

Направление подготовки (специальность) 010400.62 Прикладная математика и информатика

Наименование образовательной программы Математическая кибернетика

Квалификация (степень) выпускника Бакалавр

Форма обучения очная

**АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рассматриваются нейтронно-физические и теплофизические процессы в активной зоне реактора. Математические модели первого и второго контура АЭС. Формируется математическая модель ядерного энергоблока с учетом нейтронно-физических, теплофизических обратных связей и систем управления.

**СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 кр., 88 час.

Лекции: 34 час.

Практические занятия/семинары: 17 час.

Лабораторные работы: 17 час.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п.п.** | **Наименование раздела учебной дисциплины** | **Неде-ли** | **Лек-ции, час.** | **Практ. заня-тия/ семи-нары, час.** | **Лаб. рабо-ты, час.** | **Обязательный текущий контроль успеваемости (форма\*, неделя)** | **Аттеста-ция раздела (форма\*, неделя)** | **Макси-мальный балл за раздел \*\*** |
|  | 6 семестр |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | Раздел 1  Математическое моделирование процессов замедления и диффузии нейтронов в ядерном реакторе | 1-8 | 17 | 8 | 8 | ЛР4, | КИ8 | 25 |
| 2 | Раздел 2  Кинетика реактора, нейтронно-фи зические обратные связи | 9-16 | 17 | 9 | 9 | ЛР12, | КИ16 | 25 |
|  | Зачет |  |  |  |  |  | З | 50 |
|  | Итого за 6 семестр |  |  |  |  |  |  | 100 |

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр

***Список сокращений наименований форм контроля***

*Формы итоговой аттестации за семестр:*

*Э Экзамен*

*З Зачет*

*КП Курсовой проект*

*КР Курсовая работа*

*Формы проведения обязательного текущего контроля и аттестации разделов:*

*БДЗ Большое домашнее задание*

*ДЗ Домашнее задание*

*Дикт Диктант*

*Дкл Доклад*

*Дск Дискуссия*

*Зд Задание (задача)*

*ЗР Зачетная работа*

*КР Контрольная работа*

*КИ Контроль по итогам*

*Кл Коллоквиум*

*КСт Круглый стол*

*ЛР Лабораторная работа*

*Н Сдача норматива (по физической культуре)*

*Отч Отчет или раздел отчета (по практике, НИР, УИР)*

*ПЗ Промежуточный зачет*

*Прз Презентация*

*РГЗ Расчетно-графическое задание*

*Реф Реферат*

*РИ Ролевая игра*

*Т Тестирование*

*ТвР Творческая работа*

*Эс Эссе]*

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА**

В качестве оценочного средства используется 100 бальная семестровая система, учитывающая посещаемость занятий, активность (выполнение домашних занятий), выполнение тематических домашних заданий по каждому разделу, контрольно-тестовая работа по каждому разделу. Каждый раздел проходит аттестацию.

Итоговый балл за раздел (КИ) формируется следующим образом:

посещаемость семинарских занятий (еженедельно) не менее 80% +2 балла

не менее 50% +1 балл

менее 50% 0 баллов

ЛР - контрольно-тестовая работа (продолжительность – 1 а/час  
(проводится в аудитории) Выполнено не менее 90% +23 баллов

Выполнено от 70-до 89% +16 баллов

Выполнено от 40-до 69% +8 балла

Менее 39% 0 баллов

КИ – аттестация раздела (контроль по итогам) Раздел аттестуется, если набрано не менее 60% баллов

По 1 и 2 разделам организуется по 1 пересдаче в течение семестра; На зачете организуется 1 пересдача

Самостоятельная работа студента включает: Повторение теоретического материала –

Выполнение ЛР

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

При изучении курса студенты должны пользоваться теоретическим и практическим разделами Автоматизированной обучающей системы по физике реакторов

**ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**…..12

**1.1. Взаимодействие нейтронов с ядрами**..............................…...12

1.1.1. Деление, радиационный захват, рассеяние нейтронов.

Коэффициент размножения в бесконечной среде. Формула

четырех сомножителей....................................................……….12

1. Скорость реакции. Удельное энерговыделение. Мощность

реактора.............................................................................………..24

1.1.3. Замедление нейтронов..........................................................…26

1.1.4. Диффузия нейтронов...........................................................….33

1. Диффузия при замедлении. Уравнение возраста. Критическое условие в диффузионно-возрастном приближении..........................................................................……42

**1.2. Критический реактор.** ......................................................…...51

1.2.1. Условия, используемые при решении уравнения

диффузии......................................................................................51

1.2.2. Условно критический реактор.........................................……52

1. Решение диффузионного уравнения для различных

форм активной зоны.................................................54

1.2.2.2. Минимальный критический объем.........................63

1.2.2.3. Отражатель................................................................64

1.2.3. Двухгрупповое уравнение для теплового реактора...............67

1.2.4. Расчет поля нейтронов в активной зоне реактора.................70

1.2.5. Профилирование полей энерговыделения.............................73

**1.3. Точечная кинетика реактора**..................................................74

1.3.1. Элементарные уравнения кинетики........................................74

1.3.2. Период реактора........................................................................75

1.3.3. Запаздывающие нейтроны.......................................................77

1.3.4. Анализ переходных процессов при скачках реактивности..82

**1.4. Отравление реактора**................................................................85

1.4.1. Отравление реактора ксеноном...............................................85

1.4.2. Ксеноновые колебания.............................................................95

1.4.3. Отравление реактора самарием.............................................102

**1.5. Динамика ядерных энергоблоков**.........................................113

1.5.1. Энергоблок с реактором ВВЭР..............................................114

1.5.1.1. Саморегулирование реакторной установки..........115

1.5.1.2. Программы регулирования энергоблока..............116

1. Математическая модель энергоблока с реактором

ВВЭР..........................................................................119

1.5.2. Энергоблок с реактором РБМК.............................................125

1. Математическая модель энергоблока с реактором

РБМК.........................................................................126

**ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**........................................132

**2.1. Критический реактор**..............................................................132

1. Исследование поведения поля энерговыделения в двухзонном реакторе...................................................................132
2. Профилирование поля энерговыделения в многозонном

реакторе.........................................................................................133

**2.2. Точечная кинетика реактора**................................................136

**2.3. Отравление реактора**..............................................................137

2.3.1. Стационарное отравление ксеноном.....................................137

2.3.2. Нестационарное отравление ксеноном.................................138

2.3.3. Самариевое отравление..........................................................140

1. Устойчивость реактора по отношению к возникновению

ксеноновых колебаний...........................................................140

1. **Исследование переходных процессов в энергоблоке**

**с учетом нейтронно-физических и теплофизических**

**обратных связей**.......................................................................144

2.4.1. Энергоблок с реактором ВВЭР-1000....................................144

2.4.2. Энергоблок с реактором РБМК-1000....................................148

**ГЛАВА 3. КОНТРОЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА**........................152

3.1. Пользовательский интерфейс...................................................152

1. Возможности по созданию индивидуальной контролирующей

системы и пример ее реализации...............................................154

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**.............................................................157

**План практических занятий**

Занятие №1 (2 час) Замедление нейтронов

Решение уравнения замедления на водороде. Замедление с поглощением. Вероятность избежать резонансного захвата.

Занятие №2 (4 часа) Критический реактор

Условия, используемые при решении уравнения диффузии. Условно критический реактор. Решение диффузионного уравнения для различных форм активной зоны (плоская пластина, бесконечный цилиндр, параллелепипед).

Занятие №3 (4 часа) Критический реактор

**Многозонный реактор. Двухзонная пластина, отражатель. Цилиндрический реактор с отражателем.**

Занятие №4 (4 часа) Кинетика реактора

**Решение уравнений точечной кинетики в одногрупповом приближении. Точечный источник в подкритическом реакторе. Переходные процессы при положительном и отрицательном скачках реативности**

Занятие №5 (3 часа) Отравление реактора реактора

Решение уравнений отравления. Равновесное отравление, переходные процессы. Ксеноновые колебания.

**Задание на самостоятельную работу.**

*С помощью автоматизировнной обучающей системы по физике реакторов:*

1. Изучить теоретические разделы:

* -критический реактор;
* -кинетика реактора;
* -отравления реактора.

2. С помощью практических разделов АОС выполнить исследования физических явлений по перечисленным выше темам.

3. Написать отчет о проведенных исследованиях.

4. Ответить на контрольные вопросы АОС

**Контрольно-измерительный материал**

**Автоматизированное тестирование**

**Тема :«Критический реактор» (2-ая неделя)**

=== 1 ======================================================

Что такое Кэф?

- коэффициент размножения нейтронов в бесконечной среде [0]

- отношение числа нейтронов в данном поколении к числу нейтронов

в предыдущем поколении [10]

- наименьшее собственное значение уравнения диффузии нейтронов [10]

=== 2 ======================================================

Как Кэф связано с реактивностью?

- реактивность - отклонение Кэф от единицы [0]

- реактивность - относительное отклоненик Кэф от единицы [10]

- реактивность - отклонения Кэф от К(бескон.) [0]

=== 3 ======================================================

Повторяет ли профиль поля энерговыделения в реакторе профиль

поля нейтронов?

- да [0]

- нет [10]

- не знаю [0]

=== 4 ======================================================

Что такое коэффициент неравномерности поля энерговыделения и

поля нейтронов?

- отношение максимального значения к минимальному [0]

- отношение максимального значения к среднему [20]

- отношение среднего значения к минимальному [0]

=== 5 ======================================================

Какой запас реактивности называют оперативным?

- предназначенный для прекращения цепной реакции деления при

возникновении аварийных ситуаций [0]

- расходуемый на выгорание и шлакование горючего [0]

- это запас реактивности, имеющийся "на стержнях" СУЗ [20]

=== 6 ======================================================

Что такое эффективность органа регулирования (ОР) ядерного

реактора?

- это изменение Кэф при полном погружении ОР в активную зону [0]

- доля нейтронов, поглощенных ОР в реакторе [0]

- это реактивность, которую ОР может скомпенсировать при его

введении в АЗ и высвободить при извлечении его из зоны [10]

=== 7 ======================================================

Что такое дифференциальная характеристика органа

регулирования (ОР) ядерного реактора?

- это относительное изменение потока нейтронов органом

регулирования [0]

- это изменение реактивности при перемещении ОР на единицу длины

в различных по высоте положениях [20]

- это изменение Кэф при том же перемещении ОР [0]

=== 8 ======================================================

Что такое интегральная характеристика органа регулирования

(ОР) ядерного реактора?

- зависимость Кэф от положения ОР [0]

- это относительное изменение потока нейтронов при полном

погружении ОР в активную зону [0]

- зависимость реактивности, которую компенсирует ОР, от его

положения по высоте активной зоны реактора [30]

=== 9 ======================================================

Какое явление называется интерференцией стержней?

- наличие колебательного процесса с пучностями и провалами в поле

нейтронов при определенном положении стержней [0]

- отличие суммарной эффективности нескольких стержней от суммы

эффективностей каждого стержня, измеренных отдельно [10]

=== 10 ======================================================

Связана ли эффективность стержня со значением потока нейтронов?

- практически нет [0]

- связь прямо пропорциональная [0]

- пропорциональна квадрату плотности потока [20]

=== 11 ======================================================

Пропорционально ли распределение энерговыделения по высоте

активной зоны:

- плотности потока быстрых нейтронов [30]

- плотности потока тепловых нейтронов [0]

- плотности потока быстрых и тепловых нейтронов [0]

=== 12 ======================================================

Какие факторы приводят к уменьшению потока нейтронов от

центра к периферии активной зоны?

- поглощение нейтронов [0]

- утечка нейтронов [10]

- другие факторы [0]

=== 13 ======================================================

Каков характер распределения потока тепловых нейтронов по

радиусу твэл?

- распределение равномерное [0]

- максимум распределения наблюдается в центре твэла, минимум -

на периферии [0]

- максимум распределения на границе твэла, минимум - в его центре [20]

=== 14 ======================================================

Каков характер распределения потока тепловых нейтронов по ради-

усу ТВС реактора типа РБМК?

- распределение равномерное [0]

- максимум распределения - в центре ТВС, минимум - на границе [0]

- максимум распределения - на границе ТВС, минимум - в центре [30]

=== 15 ======================================================

Какой способ профилирования полей энерговыделения обеспечивает

минимум потерь нейтронов?

- перемещение стержней СУЗ [0]

- применение выгорающего поглотителя [0]

- перегрузки ТВС [10]

=== 16 ======================================================

Сигнал датчика ДКЭ(р) пропорционален:

- плотности тепловых нейтронов [20]

- плотности быстрых нейтронов [0]

- плотности быстрых и тепловых нейтронов [0]

=== 17 ======================================================

Влияет ли размер активной зоны на эффективность органа

регулирования, помещенного в центр зоны?

- да [0]

- нет [10]

- не знаю [0]

=== 18 ======================================================

Два органа регулирования (ОР) расположены - один в центре

гомогенной активной зоны, другой - на краю зоны.

Где больше эффективность ОР?

- эффективность ОР одинакова [0]

- в центре зоны [10]

- на краю зоны [0]

=== 19 ======================================================

Два органа регулирования в реакторе на тепловых нейтронах

расположены - один на краю активной зоны, другой - в отражателе.

Где больше эффективность органов регулирования?

- в отражателе [30]

- на краю зоны [0]

- эффективность одинакова [0]

=== 20 ======================================================

Где больше отличия между потоками быстрых и тепловых нейтронов?

- в центре активной зоны [0]

- на краю активной зоны [0]

- в отражателе [20]

=== 21 ======================================================

Возрастает ли в отражателе поток тепловых нейтронов по сравнению

с краем активной зоны?

- да [10]

- нет [0]

- не знаю [0]

=== 22 ======================================================

Стержень СУЗ перестают охлаждать. Что произойдет с его

эффективностью?

- увеличится [0]

- уменьшится [30]

- останется без изменения [0]

=== 23 ======================================================

Как изменится эффективность органа регулирования, если его

сделать пустотелым, а полость в центре заполнить водой?

- уменьшится [0]

- увеличится [20]

- останется без изменения [0]

=== 24 ======================================================

В активной зоне реактора равномерно расположено 4 органа

регулирования (ОР) (1-2-3-4). Требуется снизить мощность реактора

в одной из половин, минимально возмущая другую. Что делать?

- погрузить первый и второй ОР, извлечь третий и четвертый [0]

- погрузить второй, извлечь третий [100]

- погрузить первый и второй ОР, извлечь четвертый [0]

**Тема: «Кинетика реактора**» **(4-ая неделя)**

=== 1 ======================================================

Как влияют запаздывающие нейтроны на скорость изменения мощ-

ности реактора при внесении положительной реактивности?

- не влияют [0]

- замедляют рост мощности [20]

- ускоряют рост мощности [0]

=== 2 ======================================================

Как влияют запаздывающие нейтроны на скорость изменения мощ-

ности реактора при внесении отрицательной реактивности?

- не влияют [0]

- замедляют падение мощности [20]

- ускоряют падение мощности [0]

=== 3 ======================================================

Как влияет уменьшение величины среднего времени жизни нейтрона

при внесении положительной реактивности на скорость изменения

мощности?

- не влияет [0]

- увеличивает [20]

- уменьшает [0]

=== 4 ======================================================

На сколько увеличивается среднее время жизни нейтронов из-за

наличия предшественников запаздывающих нейтронов?

- не увеличивается [0]

- увеличивается в несколько раз [0]

- увеличивается на два порядка [30]

=== 5 ======================================================

Какова доля выхода запаздывающих нейтронов у U-235 ?

- 60 % [0]

- 10 % [0]

- 0.6 % [20]

**Тема: «Отравление реактора» (6-ая неделя)**

=== 1 ======================================================

При выводе уравнения для изменения концентрации йода чем можно

пренебречь?

- накоплением йода при делении ядер горючего [0]

- убыль йода вследствие захвата им нейтронов [10]

- убыль йода вследствие радиоактивного распада [0]

=== 2 ============================================================

Стационарное распределение концентрации йода пропорционально потоку?

- да [10]

- нет [0]

- не зависит от величины потока [0]

=== 3 ============================================================

Точки в активной зоне, где достигаются максимальные концентрации

йода, ксенона и потока:

- все три точки совпадают [20]

- совпадают у йода и потока [0]

- совпадают у ксенона и потока [0]

=== 4 ============================================================

Распределение концентрации ксенона по отношению к форме

потока:

- более гладкое[20]

- в точности повторяет[0]

- более неравномерное[0]

=== 5 ============================================================

С увеличением номинальной плотности потока распределение

концентрации ксенона:

- выравнивается[20]

- не изменяется[0]

=== 6 ============================================================

Что происходит с концентрацией ксенона, если поток

неограниченно возрастает?

- также неограниченно возрастает[0]

- достигает насыщения[20]

- не изменяется[0]

=== 7 ============================================================

Как изменяются потери реактивности при нестационарном

ксеноновом отравлении с ростом обогащения?

- увеличиваются [30]

- уменьшаются[0]

- не изменяются[0]

=== 8 ============================================================

Каков порядок величины потерь реактивности в % при стационарном

ксеноновом отравлении при больших потоках и обогащении :

- -4.8%[0]

- -3.5%[40]

- -5.2%[0]

=== 9 ============================================================

Как себя ведет время наступления максимума йодной ямы при

увеличении уровня сброса мощности:

- увеличивается[40]

- уменьшается[0]

- не изменяется[0]

=== 10 ============================================================

В каком диапазоне находится время наступления max йодной ямы:

- 3 Ў 5 часов[0]

- 15 Ў 20 часов[0]

- 8 Ў 12 часов[30]

=== 11 ============================================================

Реактор на тепловых нейтронах имеет недостаточный оперативный запас

реактивности на компенсацию ксенонового отравления при полной

остановке реактора. Как в этих условиях предпочтительнее изменять

мощность реактора в процессе останова, чтобы не попасть в йодную яму,

и за минимальное время остановить его?

- линейно снижать мощность.[0]

- сбросить мощность до нуля, затем через некоторое время поднять

мощность до номинала, а потом снижать мощность.[40]

- снижать мощность ступенчато.[0]

=== 12 ============================================================

Порог возникновения ксеноновых колебаний определяется следующими

факторами :

- размером реактора, распределением энерговыделения, коэффициентами

реактивности.[10]

- расходом теплоносителя, мощностью.[0]

- размером реактора, температурой теплоносителя, мощностью.[0]

=== 13 ============================================================

Реактор находится на границе устойчивости по отношению к

возникновению ксеноновых колебаний. Как следует изменить мощность и

распределение потока нейтронов, чтобы сделать реактор устойчивым?

- уменьшить мощность, не меняя форму распределения поля

энерговыделения[0]

- увеличить мощность и уменьшить коэффициент неравномерности[0]

- уменьшить мощность и увеличить коэффициент неравномерности[30]

=== 14 ============================================================

Увеличение размера активной зоны следующим образом влияет на

устойчивость к возникновению ксеноновых колебаний:

- не влияет[0]

- снижает вероятность возникновения колебаний[0]

- увеличивает вероятность возникновения колебаний[10]

=== 15 ============================================================

Как повлияет снижение температуры графитовой кладки в установившемся

режиме перегрузок на устойчивость по отношению к возникновению

ксеноновых колебаний?

- никак не повлияет[0]

- является стабилизирующим фактором[30]

- окажет негативное воздействие[0]

=== 16 ============================================================

Реактор РБМК в стационарном режиме перегрузок находится на границе

устойчивости по отношению к возникновению ксеноновых колебаний. Как

скажется уменьшение расхода теплоносителя на устойчивость?

- возникнут ксеноновые колебания[0]

- вероятность возникновения ксеноновых колебаний уменьшится[20]

- не оказывает влияния на устойчивость[0]

Вопросы к коллоквиуму

по курсу

Математические модели физических процессов

для группы К06-331

1. Замедление нейтронов.
2. Акт рассеяния.
3. Потеря энергии при рассеянии.
4. Средняя логарифмическая потеря энергии.
5. Летаргия
6. Число столкновений при замедлении

7. Замедляющая способность, коэффициент замедления, выбор замедлителя.

8. Спектр замедляющихся нейтронов.

9. Уравнение замедления.

1. Замедление на водороде с поглощением и без него. Спектр Максвелла.
2. Плотность (поток) замедления. Связь плотности потока замедления с плотностью потока нейтронов.
3. Вероятность избежать резонансного захвата.
4. Диффузия нейтронов. Константы диффузии.
5. Плотность тока при диффузии
6. Уравнение диффузии.
7. Граничные условия.
8. Решение уравнения диффузии с источником в бесконечной среде. Квадрат длины диффузии.
9. Вывод уравнения критичности для реактора в форме бесконечной плоской пластины.
10. Вывод уравнения критичности для реактора в форме бесконечного цилиндра.
11. Реактор с отражателем (плоская пластина, шар, цилиндр).

Методические рекомендации разработал Загребаев А.М.