

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
Химический факультет
Кафедра радиохимии

Профессор, д.х.н.
И.Н.Бекман

ЯДЕРНАЯ ИНДУСТРИЯ

Курс лекций

Москва
- 2005 -

Аннотация

Курс лекций посвящен исследованию роли ядерной индустрии, ЯИ, в научно-техническом потенциале современной цивилизации. Рассмотрены радиохимические аспекты ядерного топливного цикла производства компонентов ядерного оружия и топлива для энергетических или транспортных установок. Дан критический анализ как современных типов производств, включенных в ядерно-энергетический топливный комплекс, так и перспективных методов разделения, очистки и концентрирования радионуклидов. Обсуждены перспективы оптимизации сложной иерархической системы ЯИ. Рассмотрены существующие реакторы энергетического назначения (на быстрых и тепловых нейтронах), типы атомных электростанций и ядерных комплексов, методы предотвращения загрязнения окружающей среды выбросами АЭС, системы безопасности АЭС, особенности открытого и замкнутого ядерно-топливного цикла, этапы производства веществ и материалов ядерной индустрии, виды радиоактивных отходов, методы утилизации отработанного ядерного топлива, способы переработки и захоронения радиоактивных отходов, а также проблема плутония и других «оружейных» изотопов. Выделены перспективные направления ядерно-энергетического топливного комплекса, обеспечивающие нераспространение ядерного оружия. Основное внимание уделено концепции анализа и управления риском предприятий ядерной индустрии и повышению их экологической безопасности.

Название курса: Ядерная индустрия.

Автор курса: профессор, д.х.н. И.Н.Бекман.

Назначение курса: подготовка студентов в области прикладной радиохимии, ядерной энергетики, радиационной экологии, нераспространения оружия массового поражения.

Требования к предварительной подготовке: университетские курсы по радиоактивности, радиохимии, радиационной химии, экологической химии и химической технологии.

Объем курса: 60 учебных часов лекций

Предисловие к курсу

В основе данного учебного пособия лежит курс лекций, который читается автором в течение длительного времени (15 лет) на химическом факультете Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова для студентов IV-V курсов, специализирующихся в области радиохимии. Курс – составная часть общей программы подготовки специалистов-радиохимиков, включающей курсы «Основы радиохимии», «Экологическая радиохимия и радиоэкология» и «Статистические методы обработки и интерпретации результатов радиохимических экспериментов», читаемых тем же лектором.

Курс лекций включает обзор особенностей современной ядерной индустрии с точки зрения радиохимии и экологической безопасности. Приведена краткая историческая справка возникновения и развития ядерных наук и технологий, и исследовано современное состояние ядерной индустрии. В Курсе рассмотрены радиохимические аспекты цикла производства ядерных зарядов атомного и термоядерного оружия и топлива для энергетических и транспортных установок. Дан критический анализ современных типов производств, включенных в ядерный топливно-энергетический комплекс (ЯТЭК), а так же перспективных методов разделения, очистки и концентрирования радионуклидов. Обсуждены существующие типы реакторов военного, энергетического и транспортного назначения (на быстрых и тепловых нейтронах), работающих на разных видах топлива; типы атомных электростанций и ядерных комплексов; радионуклидные источники тока и установки термоядерного синтеза; методы предотвращения загрязнения окружающей среды выбросами АЭС; системы безопасности АЭС; особенности открытого и замкнутого ядерно-топливного цикла; этапы ядерно-топливного цикла; некоторые аспекты испытания ядерного оружия; мирное использование ядерных и термоядерных зарядов; виды радиоактивных отходов; методы утилизации отработанного ядерного топлива, способы переработки и захоронения радиоактивных отходов, а также проблема плутония и других «оружейных» изотопов. Основное внимание уделено развитию направлений ядерного топливно-энергетического комплекса, обеспечивающих нераспространение ядерного оружия. Даны некоторые вспомогательные сведения из области радиоактивности, ядерной физики, радиохимии и экологии, облегчающие восприятие основного материала книги. В конце курса дискутируется роль ядерных технологий в современном обществе и их перспективы на будущее.

Преподавание курса обеспечено учебным пособием в бумажном и электронном вариантах, а также возможностью общения с Интернет-сайтами, содержащими учебный материал, необходимый для подготовки специалиста-радиохимика.

Материал изложен в форме, доступной студентам, знакомым с основными положениями радиохимии и химической технологии в рамках университетской программы для химиков. Курс может быть полезен для лиц с высшим химическим образованием, работающих в области радиохимии, технологии ядерного топлива, а также в области экологии и охраны окружающей среды.

Содержание

Предисловие

1. История создание фундаментальных основ ядерной индустрии
2. Ядерная индустрия: история развития
3. Развитие индустрии в разных странах: Германия
4. Развитие ядерной индустрии в разных странах: США, Великобритания, Франция и Канада
5. Развитие ядерной индустрии в разных странах: СССР (Россия)
6. Развитие ядерной индустрии в разных странах: Китай, Индия, Пакистан, ЮАР, Япония
7. Ядерная индустрия, ядерный топливно-энергетический комплекс и атомная энергетика
8. Физические основы ядерной индустрии
9. Источники ионизирующего излучения

10. Изотопные генераторы электрического тепла, электричества и света
 11. Физика атомного реактора
 12. Ядерные реакторы
 13. Современные ядерные реакторы России
 14. Перспективные ядерные реакторы
 15. Атомные электростанции
 16. Ядерные двигатели для транспорта
 17. Системы очистки выбросов АЭС
 18. Химия радиоактивных элементов
 19. Ядерные топливные циклы
 20. Дореакторная часть уранового топливного цикла
 21. Послереакторная часть уранового топливного цикла
 22. Радиохимическая переработка ядерного топлива
 23. Конечная стадия ядерного топливного цикла
 24. Утилизация оружейных нуклидов
 25. Радиационно-химические процессы в ядерном топливном цикле
 26. Предприятия ядерной индустрии
 27. Термоядерный синтез
 28. Установки для термоядерного синтеза
 29. Ядерные материалы
 30. Безопасность предприятий ядерной индустрии
 31. Аварии на предприятиях ядерной индустрии
 32. Экологический риск ядерной индустрии
 33. Ядерное оружие
 34. Юридические аспекты ядерной индустрии
 35. Экономические аспекты ядерной индустрии
- Заключение

Программа курса

Предисловие

Рекомендованная литература

Лекция 1. **ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ**

1. Атомно-молекулярное учение
2. Атомная физика
3. Элементарные частицы
4. Строение ядра
5. Квантовая механика
6. Теория относительности
7. Радиоактивность
8. Радиохимия
9. Ионизирующие излучения и их взаимодействие с веществом
10. Методы измерений
11. Ускорители
12. Ядерные реакции
13. Ядерные реакторы
14. Развитие Периодической системы элементов
15. Разделение изотопов

16. Космические лучи

16. Плазма и термоядерный синтез

Лекция 2. **ЯДЕРНАЯ ИНДУСТРИЯ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ**

1. Историческая справка

2. Хронология

Приложение. Учёные, внесшие существенный вклад в развитие фундаментальных основ науки и ядерной индустрии

Лекция 3. **РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ В РАЗНЫХ СТРАНАХ: Германия**

1. Хроника событий

2. Действия разведок

3. Достижения Германии в развитии ядерной индустрии

4. Причины неудач

5. Операция Пейпер Клипс

6. Ядерная индустрия Германии после войны

Лекция 4. **РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ В РАЗНЫХ СТРАНАХ: США, Англия, Франция и Канада**

1. Соединённые Штаты Америки

2. Великобритания

3. Франция

Лекция 5. **РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ В РАЗНЫХ СТРАНАХ: СССР (Россия)**

1. Атомная сфера СССР до начала Отечественной войны

2. Урановый проект СССР в годы войны

3. Советский атомный проект

4. Ядерная индустрия России

Приложение Руководители советского атомного проекта

Лекция 6. **РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ В РАЗНЫХ СТРАНАХ: Китай, Индия, Пакистан, ЮАР и Япония**

1. Китай

2. Индия

3. Пакистан

4. ЮАР

5. Япония

Лекция 7. **ЯДЕРНАЯ ИНДУСТРИЯ, ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

1. Базовые компоненты ядерной индустрии

2. Новая энергетическая революция и ядерный ренессанс

3. Перспективы развития атомной энергетики

4. Атомная энергетика в России

Приложение. Виды промышленной энергетики и ее перспективы.

Лекция 8. **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ**

1. **ЯДЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

1.1 Атомное ядро

1.2. Радиоактивный распад

1.3 Ядерные реакции

2. **ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

2.1 Виды излучений

2.2 Взаимодействие излучения с веществом

Лекция 9. ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
2. ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
3. ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
 - 3.1 Радионуклиды- источники ионизирующих излучений
 - 3.2 Источники α -частиц и атомов отдачи продуктов деления
 - 3.3 Источники электронов
 - 3.3.1 Изотопные источники электронов
 - 3.3.2 Ускорители электронов
 - 3.4 Источники рентгеновского излучения
 - 3.4.1 Рентгеновская трубка
 - 3.4.2 Лазер
 - 3.4.3 Ускорители
 - 3.4.4 Радионуклидные источники рентгеновского излучения
 - 3.5 Источники γ -излучения
 - 3.5.1 Изотопные гамма-установки
 - 3.5.2 Ускорители – источники тормозного излучения
 - 3.6 Портативные источники нейтронов
 - 3.6.1 Радионуклидные источники
 - 3.6.2 Генераторы
4. УСКОРИТЕЛИ
5. ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ
 - 5.1 Реакторы – генераторы постоянных потоков нейтронов и гамма-излучения
 - 5.2 Импульсные реакторы

Лекция 10. ИЗОТОПНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ТЕПЛА, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И СВЕТА

1. ИЗОТОПЫ ДЛЯ АТОМНЫХ БАТАРЕЙ
2. АТОМНЫЕ БАТАРЕИ И КОСМОСЕ
3. АТОМНЫЕ БАТАРЕИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
4. АТОМНЫЕ БАТАРЕИ ДЛЯ МАЯКОВ, БАКЕНОВ И СТОЛБОВЫХ ЗНАКОВ
5. ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ
6. ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ С ТЕРМОЭМИССИОННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ
7. ИСТОЧНИКИ СВЕТА
8. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Лекция 11. ФИЗИКА АТОМНОГО РЕАКТОРА

1. ЭНЕРГЕТИКА АТОМНОГО РЕАКТОРА
2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТОМНОМ РЕАКТОРЕ
 - Цепная реакция деления
 - 2.2 Жизненный цикл нейтронов
 - 2.3. Критическая масса
 - 2.4 Управление цепной реакцией деления
 - 2.5 Эффекты реактивности
 - 2.6 «Иодная яма»
 - 2.7 Управление реактором
 - 2.8 Эффективность реактора
3. ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ ФИЗИКИ РЕАКТОРОВ

Лекция 12. ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

1. ТИПЫ АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ
2. УСТРОЙСТВО АТОМНОГО РЕАКТОРА
 - 2.1 Реактор на тепловых нейтронах
 - 3.1.1 Гомогенные реакторы
 - 3.1.2 Гетерогенные реакторы
 - 3.1.3 Газоохлаждаемые реакторы
 - 2.2 Реакторы на промежуточных нейтронах
 - 2.3 Реакторы на быстрых нейтронах
3. ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
 - 3.1 Ядерное горючее
 - 3.2 Замедлители нейтронов
 - 3.3 Поглотители нейтронов
 - 3.4 Теплоносители
 - 3.5 Материалы – отражатели нейтронов
 - 3.6 Конструкционные материалы

Лекция 13. СОВРЕМЕННЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ РОССИИ

1. КАНАЛЬНЫЙ КИПЯЩИЙ ГРАФИТОВЫЙ РЕАКТОР, РБМК
2. ВОДО-ВОДЯНОЙ РЕАКТОР, ВВЭР
3. РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ
4. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТРОВ
5. ВОЕННЫЕ РЕАКТОРЫ
6. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ. Некоторые термины, принятые в реакторостроении

Лекция 14. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

1. МОДЕРНИЗИРОВАННЫЕ РЕАКТОРЫ
2. РЕАКТОРЫ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ
 - 2.1 ВВЭР-1500
 - 2.2 АЭС с реактором повышенной безопасности НП-640 (В-407)
 - 2.3 Многопетлевой кипящий энергетический реактор МКЭР-800
 - 2.4 Тяжеловодные канално-корпусные реакторы ТР-1000 и МТР-500 повышенной безопасности
3. ПРОЕКТИРУЕМЫЕ РЕАКТОРЫ
 - 3.1 Докритические реакторы
 - 3.2 Неводные теплоносители
 - 3.3 Усовершенствованный реактор на быстрых нейтронах, БРЕСТ
 - 3.4 Безопасный быстрый реактор РБЕЦ
 - 3.5 «Вечный» реактор
 - 3.6 Простой и безопасный реактор США
4. РЕАКТОРЫ С ВНУТРЕННЕЙ (ФИЗИЧЕСКОЙ) БЕЗОПАСНОСТЬЮ
 - 4.1 Дисковый реактор
 - 4.2 Реактор на быстрых нейтронах с внутренней безопасностью
 - 4.3 Реактор, устойчивый к нарушению теплосъема
 - 4.4 Тепловой реактор с внутренней безопасностью
 - 4.5 Комбинированный реактор
 - 4.6 Гибридный реактор
 - 4.6.1 Быстрый реактор и ускоритель
 - 4.6.2 Тепловой реактор и термояд
 - 4.7 Погружающийся реактор
 - 4.8 Гелиевый реактор

5. МАЛЫЕ РЕАКТОРЫ

5.1 Капсулированный реактор

5.2 АРГУС

5.3 Мастер

5.4 Rapid

Лекция 15. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

1. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

1.1 АЭС России

1.2 Атомные электростанции на пост-советском пространстве

1.3 Атомная энергетика в странах мира

1.4 Атомные электростанции в странах мира

1.4.1 Канада – реактор Канду

1.5 Малые АЭС

1.6 Подземные АЭС

1.7 Плавучие АЭС

1.8 Передвижные АЭС

2. АТОМНЫЕ СТАНЦИИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

3. ЯДЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Лекция 16. ЯДЕРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ТРАНСПОРТА

1. АТОМНЫЙ ФЛОТ

1.1 Атомные подводные лодки, АПЛ

1.1.1 Историческая справка

1.1.2 Поколения АПЛ

1.1.3 Подводные лодки с атомной энергетической установкой с ЖМТ

1.1.4 Несерийные подводные лодки

1.1.5 Ядерные энергетические установки для АПЛ

1.2 Атомные надводные военные корабли

1.3 Топливо для реакторов атомного военного флота

1.4 Гражданские суда с ЯЭУ

2. АВИАЦИЯ

2.1 США

2.2 СССР

3. БОЕВЫЕ РАКЕТЫ НА БАЗЕ ЯРД

4. КОСМИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

4.1 Америка

4.2 СССР(Россия)

4.3 Типы ЯРД космического назначения

4.3.1 Ядерный взрывной двигатель

4.3.2 Радиоизотопный ЯРД

4.3.3 ЯРД с реактором деления

Лекция 17. СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ АЭС

1. ВВЕДЕНИЕ

2. ВЫБРОСЫ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ОТХОДОВ АЭС В АТМОСФЕРУ

2.1 Источники газообразных отходов

2.2 Краткая характеристика газообразных отходов

2.3 Нормирование выбросов радиоактивных газов в атмосферу. Ограничение абсолютных выбросов

3. ОЧИСТКА ГАЗООБРАЗНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АЭС

4. ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ АЭС

Лекция 18. ХИМИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Актиноиды
 2. Актиний
 3. Торий
 4. Протактиний
 5. Уран
 6. Нептуний
 7. Плутоний
 8. Америций
 9. Кюрий
 10. Берклий
 11. Калифорний
 12. Эйнштейний
 13. Фермий
 14. Менделевий
 15. Нобелий
 16. Лоуренсий
 17. Резерфордий
 18. Дубний

Лекция 19. ТОПЛИВНЫЕ ЦИКЛЫ

1. УРАНОВЫЙ ЦИКЛ
2. УРАН-ТОРИЕВЫЙ ЦИКЛ
 - 2.1 Ториевый топливный цикл
 - 2.2 Уран-ториевый цикл на базе докритического реактора
3. Уран - плутониевый цикл
 - 3.1 Оружейный плутоний
 - 3.2 Реакторный плутоний
 - 3.3 Возможности обогащения плутония
 - 3.3 Возможности обогащения плутония
4. ТОРИЙ-ПЛУТОНИЕВЫЙ ЦИКЛ

Лекция 20. ДОРЕАКТОРНАЯ ЧАСТЬ УРАНОВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

1. ДОБЫЧА УРАНОВОЙ РУДЫ
 - 1.1 Урановые рудники и запасы урана
 - 1.2 Переработка урановой руды
2. ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО УРАНА
3. ОБОГАЩЕНИЕ УРАНА
 - 3.1 Гексафторид урана
 - 3.2 Методы разделения изотопов
 - 3.3 Разделение изотопов урана
4. РЕАКТОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
 - 4.1 Реактор ВВЭР
 - 4.2 Реактор РБМК
 - 4.3 Энергетический реактор на быстрых нейтронах, БН600

Лекция 21. ПОСЛЕ РЕАКТОРНАЯ ЧАСТЬ УРАНОВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

1. ОТРАБОТАННОЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО
2. ВРЕМЕННОЕ ХРАНЕНИЕ ОЯТ
3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОЯТ

4. 4. ЭЛЕМЕНТНЫЙ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ОЯТ
5. 5. ОЯТ РОССИИ
6. 5.1 ОЯТ энергетических реакторов
7. 5.2 ОЯТ ВМФ и гражданского флота России
8. 5.2 ОЯТ ВМФ и гражданского флота России

Лекция 22. РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

1. РЕГЕНЕРАЦИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА
2. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА
3. ПОЛГОТОВКА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА К ЭКСТРАКЦИИ
4. РАСТВОРЕНИЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА
5. ОЧИСТКА И ВЫДЕЛЕНИЕ УРАНА, ПЛУТОНИЯ И НЕПТУНИЯ
- 5.1 Урановая ветвь
- 5.2 Плутониевая ветвь
- 5.3 Выделение и очистка нептуния
6. РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ЗАВОДЫ РОССИИ

Лекция 23. КОНЕЧНАЯ СТАДИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

1. ОТХОДЫ ЯТЦ
 - 1.1 АЭС
 - 1.2 Предприятия ЯТЦ
 - 1.3 Медицинские, сельскохозяйственные, промышленные и исследовательские работы
 - 1.4 Добыча полезных ископаемых
2. ОБРАЩЕНИЕ с РАО
 - 2.1 Обработка и кондиционирование перед захоронением
 - 2.2 Перевозка
 - 2.3 Промежуточное хранение
 - 2.4 Захоронение
3. ОТВЕРЖДЕНИЕ РАО
 - 3.1 Остекловывание отходов
 - 3.2 Ядерная керамика
 - 3.3 Битумирование отходов
 - 3.4 Цементирование отходов
 - 3.5 Критерии выбора стекла и керамики для иммобилизации радиоактивных отходов
4. ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ
 - 4.1 Захоронение отходов низкого уровня активности
 - 4.2 Подземное захоронение жидких РАО
 - 4.3 Захоронение отходов высокого уровня активности и отработавшего топлива
 - 4.4 Природные аналоги хранилищ радиоактивных отходов
 - 4.5 Коррозионная стойкость отвержденной формы отходов
5. УНИЧТОЖЕНИЕ РАО ЯДЕРНЫМ ВЗРЫВОМ
6. ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

Лекция 24. УТИЛИЗАЦИЯ ОРУЖЕЙНЫХ НУКЛИДОВ

1. ВИДЫ ПЛУТОНИЯ
2. ПРОИЗВОДСТВО ПЛУТОНИЯ
3. СПОСОБЫ РАЗОРУЖЕНИЯ
4. УРАН-ПЛУТОНИЕВОЕ ТОПЛИВО (топливо МОКС)
5. ТОРИЙ – ПЛУТОНИЕВОЕ ТОПЛИВО
6. ТРАНСМУТАЦИЯ ПЛУТОНИЯ И МАЛЫХ АКТИНИДОВ
7. РАДИОНУКЛИДЫ В ПРОЦЕССЕ РАЗОРУЖЕНИЯ

Лекция 25. РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЯТЦ

1. РАДИАЦИОННАЯ ХИМИЯ В ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ
2. РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ АЭС
3. РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ХРАНЕНИИ РАО ВЫСОКОГО УРОВНЯ
4. РАДИОЛИЗ ЭКСТАКЦИОННЫХ СИСТЕМ
5. РАДИАЦИОННО УСКОРЕННАЯ ДИФФУЗИЯ ПРИМЕСЕЙ В РЕАКТОРНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ
6. РАСПУХАНИЕ ЯДЕРНОГО ГОРЮЧЕГО (свеллинг)
7. РАДИАЦИОННАЯ КОРРОЗИЯ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА (блистеринг)

Лекция 26. ПРЕДПРИЯТИЯ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ

1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА РОССИИ
 - 1.1 Сибирский химический комбинат, СХК (г.Северск, Томск-7)
 - 1.2 Красноярский горно-химический комбинат (г. Железногорск, Красноярск-26)
 - 1.3 Электрохимический завод (Красноярск-45)
 - 1.4 Производственное объединение «Маяк» (г.Озерск, Челябинск-40, 65)
 - 1.5 Новосибирский завод химических концентратов (АО «НЗХК»)
 - 1.6 Уральский электрохимический комбинат (г.Новоуральск, Свердловск-44)
 - 1.7 Производственное объединение «Чепецкий механический завод» (г.Глазов)
 - 1.8 Промышленные реакторы России
2. ОСНОВНЫЕ РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ МИРА
 - 2.1 Соединенные Штаты Америки
 - 2.2 Французский репроцессинг
 - 2.3 Великобритания
 - 2.4 Япония
 - 2.5 Индия

Лекция 27. ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

1. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ В ЗВЁЗДАХ
2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА
 - 2.1 Термодинамика ядерного синтеза
 - 2.2 Реакции ядерного синтеза
 - 2.3 Термоядерные топлива
3. ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ В ЗАМНЫХ УСЛОВИЯХ
 - 3.1 Водородная бомба
 - 3.2 Термоядерный синтез в медленном реакторе
4. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА
 - 4.1 Временные и температурные условия
 - 4.2 Магнитное удержание плазмы
5. УСТАНОВКИ С МАГНИТНЫМ УДЕРЖАНИЕМ
 - 5.1 Токамак
 - 5.2 Пинч с обращенным полем (ПОП)
 - 5.3 Стелларатор
 - 5.4 Открытая ловушка
 - 5.5 Плазменный фокус
 - 5.6 Галатей

Лекция 28. УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

1. РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО УПРАВЛЯЕМОМУ ТЕРМОЯДЕРНОМУ СИНТЕЗУ
2. РЕАКТОРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
 - 2.1 Реакторы с магнитным удержанием плазмы
 - 2.2 Импульсные системы

2.3 Тупиковые пути ядерного синтеза

3. ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Лекция 29. ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. РЕАКТОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1 Ядерное горючее

1.2 Замедлители нейтронов

1.3 Отражатели нейтронов

1.4 Материалы систем управления реактором и аварийной остановки реактора

1.5 Новые материалы

2. КОРРОЗИЯ И РАЗРУШЕНИЕ ТВЭЛОВ

3. РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

3.1. Радиационные процессы в материалах различного типа

3.2 Самодиффузия и диффузия примесей в материалах при внешних воздействиях

3.3 Распухание ядерного горючего (свеллинг)

4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

4.1 Материалы первой стенки Токомака

4.2 Материалы систем съема энергии и генерации трития

4.3 Радиационная коррозия первой стенки термоядерного реактора (блистеринг)

Лекция 30. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ

1. КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ

2. БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ

3. БЕЗОПАСНОСТЬ АЭС

3.1 Первое поколение - реакторы ВВЭР-440/230

3.2 Второе поколение - реакторы ВВЭР-440/213

3.3 Третье поколение - реакторы ВВЭР-1000

3.4 РБМК - "реактор чернобыльского типа"

4. БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНОГО ФЛОТА

Лекция 31. АВАРИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

1. МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ

2. ОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ

3. ИНЦИДЕНТЫ НА РОССИЙСКИХ АЭС

4. ИНЦИДЕНТЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ

4.1 Сибирский химический комбинат (г. Северск, Томская обл.)

4.2 Красноярский горно-химический комбинат ГХК (г. Железногорск, Красноярск-26)

4.3 Электрохимический завод (Красноярск-45)

4.4 Производственное объединение «Маяк», (г.Озерск, Челябинская обл.)

4.5 Уральский электрохимический комбинат, УЭХК (г.Новоуральск Свердловская обл.)

4.6 Аварии на промышленных реакторах России

4.7 Основные причины возникновения аварийных ситуаций на предприятиях ЯТЦ России

5. КРУПНЫЕ АВАРИИ

5.1 Аварии ядерных реакторов

5.2 Россия

5.3 США

5.4 ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

6. ПРИЛОЖЕНИЕ. Параметры предприятий ядерного топливного цикла России, характеризующие их потенциальную опасность

Лекция 32. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ

1. ОПАСНОСТЬ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

1.1 Классификация высокорисковых объектов с угрозой возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций

1.2 Классификация ядерных материалов

2. ЭКОЛОГИЯ ЯТЦ РОССИИ

2.1 Выбросы химических загрязняющих веществ в атмосферу

2.2 Радиоактивные сбросы в реки и озера

2.3 Дозы облучения населения и персонала

2.4 Радиационное воздействие на объекты живой природы

2.5 Воздействие на площади земель

2.6 Воздействие на площади лесов

3. ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ

4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ В УГОЛЬНОМ, ГАЗОВОМ И ЯДЕРНОМ ЦИКЛАХ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

5. ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ

5.1 История вопроса

5.2 Проблемы переходного периода

5.3 Атомная отрасль сегодня

5.4 Состояние вопросов ядерной и радиационной безопасности в отраслях народного хозяйства, предупреждение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций с радиационными последствиями

5.6 Федеральная целевая программа “Ядерная и радиационная безопасность России”

5.7 Итоги межведомственного обсуждения приоритетов в реализации утвержденной Правительством программы

6. ПРИЛОЖЕНИЯ

6.1 Последствия радиационных аварий и облучение населения России

6.2. Справочные материалы Минатома России к заседанию Правительства РФ

Лекция 33. ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ

1. ВИДЫ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

2.1 История

2.2 Критическая масса

2.3 Конструкция атомной бомбы

3. ВОДОРОДНАЯ БОМБА

3.1 История

3.2 Устройство водородной бомбы

4. ПОСЛЕДСТВИЯ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

4.1 Бомбардировка Хиросимы и Нагасаки

4.2 Ядерные взрывы разной мощности

4.3 Поражающие факторы ядерного взрыва

4.4 Взрыв над лесным массивом

4.5 Ядерная зима

5. ИСПЫТАНИЕ ЯДЕРНОГО И ТЕРМОЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

5.1 Полигоны

5.2 Результаты испытаний

6. МИРНЫЕ ВЗРЫВЫ

Лекция 34. ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ

1. Законы России

2. Международное законодательство

3. Нераспространение оружия массового поражения

Лекция 35. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ

1. Экономический анализ производств добычи, переработки и изотопного обогащения урана
2. Экономический анализ ядерной энергетики
3. Экономика безопасности населения
4. Экономика экологической безопасности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Перспективы ядерной индустрии

Литература к лекционному курсу

1. Андриюшин И.А., Чернышев А.К., Юдин Ю.А. Укрощение ядра: Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР /Гл. ред. Р.И. Илькаев. Саров-Саранск: Тип. «Красн. Окт.», 2003.
2. Атомные станции России. – Москва, 2002
3. Атомный век. События, люди, дела. Редактор-составитель А.А. Кузнецов. - М. 2005
4. В.П.Кашеев Ядерные энергетические установки. - Минск: Высшая школа, 1989.
5. Атомная наука и техника СССР. М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Будущее атомной энергетики: за и против - ИНИОН АН СССР, 1991 В.1-3.
7. Ядерная энциклопедия (А.А.Ярошинская, ред)- М.: Благотворительный фонд Ярошинской, 1996, - 656 с.: ил.
8. Ю.В.Чечеткин, Е.К.Якшин, В.М.Ещеркин Очистка радиоактивных газообразных отходов АЭС.М.: Энергоатомиздат, 1986.-152 с
9. В.В.Королев Системы управления и защиты АЭС.-М.: Энергоатомиздат, 1986
10. В.Балек Обращение с радиоактивными отходами. –МАГАТЭ, 1995.
11. Соболев И.А., Ожован М.И., Щербатова Т.Д., Батюхова О.Г. Стекла для радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1999. 240 с.
12. Радиоактивность районов АЭС / Под ред. И.И.Крышева. М.: Ядерное общество СССР, 1991.
13. В.И.Землянухин, Е.И.Ильченко, А.Н.Кондратьев, Л.Н.Лазарев, А.Ф.Царенко, Л.Г.Царицына Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС - М.: Энергоатомиздат, 1983. -232 с.
14. Л.П.Феокистов Из прошлого в будущее. Из-во РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, 1998, 323 стр.
15. Ан.Н.Несмеянов Радиохимия, Изд. Химия, 1972, 592 с.
16. Шевелев Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливно-энергетического комплекса. М.: РГГУ, 1996.-736 с.
17. Ядерный архипелаг (Составитель Б.И.Огородников).- М.: ИздАт, 1995.-265 с.
18. Израэль Ю.А. Мирные ядерные взрывы и окружающая среда// Л. Гидрометеоздат. 1974
19. В.В. Горин, Г.А. Красилов, А.И. Куркин, и др. Семипалатинский полигон: хронология подземных ядерных взрывов и их первичные радиационные эффекты //Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. 1993 № 9.
20. Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т./Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т.1.ч.1. – М.: Наука – Физматлит,
21. 1998 Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т./Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т.1 ч.2. – М.: МФТИ, 2002
22. Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т./Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т.2 Атомная бомба. 1945-1954. ч.1. – Москва-Саров, 1999
23. Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т./Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т.2 Атомная бомба. 1945-1954. ч.2. – Москва-Саров, 2000
24. Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т./Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т.2 Атомная бомба. 1945-1954. ч.3. – Москва-Саров, 2002
25. Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т./Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т.2 Атомная бомба. 1945-1954. ч.4. – Москва-Саров, 2003
26. Атомный проект СССР: Документы и материалы. В 3 т./Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т.2 Атомная бомба. 1945-1954. ч.5. – в печати.

27. Губарев В.С. Белый архипелаг Сталина. Документальное повествование о создании ядерной бомбы, основанное на рассекреченных материалах «Атомного проекта СССР». — М.: Мол. гвардия, 2004.
28. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949-1990 гг. — <http://npc.sarov.ru/issues/peaceful.html>
29. Создание первой советской атомной бомбы. Под ред. В.Н. Михайлова и А.М. Петросьянца. — М.: Энергоатомиздат, 1995
30. Бейлин В.А., Боровик А.С., Малышевский В.С. Радиация, жизнь, разум. Ростов-на-Дону, Ростиздат.- 2001, 112 стр.

Полезные Интернет сайты

1. www.atomsafe.ru **БЮЛЛЕТЕНЬ ПРОГРАММЫ ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ** Сайт посвящен деятельности [Программы «Ядерная и радиационная безопасность»](#) Социально-Экологического Союза ([СоЭС](#)) и Центра Экологической Политики России ([ЦЭПР](#)).
2. www.gan.ru Федеральная служба по атомном надзору
www.minatom.ru Федеральное агентство по Атомной энергии, Минатом, <http://old.minatom.ru/>
3. www.Bellona.no Объединение Беллуна (Норвегия): Экология и право
4. www.nuclear-weapons.nm.ru атомное оружие
5. [Phys.Web.Ru](#) - сервер [Физического факультета Московского государственного университета](#) им. М.В. Ломоносова.
6. Сайт Аналитического центра по проблемам нераспространения <http://npc.sarov.ru/issues/coretaming.html>
7. Сайт ВНИИНМ www.bochvar.ru
8. Сайт ВНИИТФА www.vniitfa.ru
9. Сайт ВНИПИЭТ <http://givnpiet.spb.ru/index.html>
10. Сайт г. Зеленогорска www.zelenogorsk.ru
11. Сайт ГНЦ РФ-ФЭИ www.ippe.obninsk.ru
12. Сайт ГХК www.krasminatom.ru
13. Сайт ЗАО «Атомстройэкспорт» www.atomstroyexport.ru
14. Сайт Кольской АЭС www.kolanpp.ru
15. Сайт комбината «Электрохимприбор» www.ehp-atom.lesnoy.ru
16. Сайт концерна «Росэнергоатом» www.rosatom.ru
17. Сайт Ленинградской АЭС www.laes.ru
18. Сайт НЗХК www.nccp.ru
19. Сайт НИИИТ www.niiit.ru
20. Сайт НИИЭФА <http://niiefa.spb.ru>
21. Сайт НИКИЭТ www.nikiet.ru
22. Сайт НИТИ www.niti.ru
23. Сайт НПО «Луч» www.luch.podolsk.ru
24. Сайт ОАО «Техснабэкспорт» www.tenex.ru
25. Сайт ОИЯИ www.jinr.ru
26. Сайт ОКБ Гидропресс» www.gidropress.podolsk.ru
27. Сайт ОКБМ <http://www.okbm.nnov.ru>
28. Сайт ПО «Старт» www.startatom.ru
29. Сайт ПО «ЭХЗ» www.ecp.ru
30. Сайт ПО МЗ «Молния» www.molniya.ru
31. Сайт Приборостроительного завода www.imf.ru
32. Сайт НПО «Радиевый институт» www.atom.nw.ru/RI/HOME.HTM
33. Сайт РФЯЦ-ВНИИТФ www.vniitf.ru

34. Сайт РФЯЦ-ВНИИЭФ www.vniief.ru
35. Сайт СКЦ Росатома www.skс.ru
36. Сайт СНИИП www.sniip.ru
37. Сайт СНПО «Элерон» <http://www.eleron.ru/>
38. Сайт ТРИНИТИ www.triniti.ru
39. Сайт УЭМЗ www.uemz.ru
40. Сайт УЭХК www.ueip.ru
41. Сайт ФГУП «Красная Звезда» <http://www.redstaratom.ru/>
42. Сайт ЧМЗ www.chmz.net