

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



Титова Л. В.
16.06.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.25 Топливо и материалы ядерной техники

1. Код и наименование специальности:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

2. Специализация:

Проектирование и эксплуатация атомных станций

3. Квалификация выпускника: инженер – физик

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

к.ф.-м.н., доц. Алейников Алексей Николаевич, к.ф.м.н., доц. Долгополов Михаил
Анатольевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 14.06.2023 г.

8. Учебный год: 2026/2027

Семестр(ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- изучение ядерно-физических свойств топлива и конструкционных материалов, работающих в условиях радиационного облучения.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование знаний и умений для выбора оптимального сочетания топливных, конструкционных материалов и теплоносителей ядерных энергетических установок.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Топливо и материалы ядерной техники относится к обязательной части Блока 1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-2	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач в сфере ядерной энергетики и технологий	ОПК-2.1	Знает основные научные направления развития науки и техники в области ядерной физики, энергетики и технологий	Знать: основные способы производства ядерного топлива; ядерные топливные циклы; свойства различных топлив при работе в ядерном реакторе; физические свойства конструкционных материалов и их изменение под воздействием радиационного облучения; Уметь: провести оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и другими отходами; Владеть: методами обобщения, анализа, восприятия информации, постановки цели и выбора путей ее достижения.
ПК-2	Способен анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи комплексного инженерного анализа в области проектирования и эксплуатации АС	ПК-2.5 ПК-2.6	Применяет физические и химические законы для описания процессов использования воды и топлива на АС Выбирает требуемые материалы для конкретных технических устройств, руководствуясь справочными данными	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4/144.

Форма промежуточной аттестации - зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		7 семестр
Аудиторные занятия	84	84

в том числе:	лекции	34	34
	практические	16	16
	лабораторные	34	34
Самостоятельная работа		60	60
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Зачет	Зачет
Итого:		144	144

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Основные компоненты и материалы ядерных реакторов деления	Типы реакторов деления. Классификация материалов ядерных реакторов деления. Топливо, замедлитель, теплоноситель, отражатель, бланкет, регулирующие стержни, система защиты реактора. Требования, предъявляемые к выбору ядерных материалов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
1.2	Свойства реакторных материалов и предъявляемые к ним требования	Требования, предъявляемые к свойствам ядерных материалов. Ядерные и физические свойства материалов. Специфические свойства материалов при их выборе для ядерных реакторов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
1.3	Фундаментальные радиационные явления в материалах	Классификация дефектов кристаллического строения. Взаимодействие ядерного излучения с веществом. Радиационное повреждение нейтронами. Модели радиационного повреждения. Пороговая энергия смещения атома. Влияние облучения на изменение свойств. Параметры, определяющие эффекты радиационного повреждения.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
1.4	Влияние облучения на реакторные материалы; топливо и топливные циклы	Поглощение нейтронов топливными и конструкционными материалами. Основные закономерности процесса накопления нуклидов в облучаемых нейтронами материалах. Пороговое значение флюенса. Изменение ядерных характеристик материалов при облучении. Изменение физических свойств облучаемых материалов. Влияние облучения на теплофизические свойства. Влияние облучения на механические свойства. Радиационное распухание (свелинг). Влияние облучения на коррозию.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
1.5	Производство топлива	Ядерный топливный цикл. Природные запасы ядерного топлива. Добыча исходного сырья. Переработка сырья. Конверсия. Обогащение. Технологии обогащения: газодиффузионное обогащение, центрифугирование, газодинамическое обогащение. Изготовление ТВЭл.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
1.6	Конструкционные материалы: металлы, керамика, керметы	Металлы и сплавы, Бериллий и его соединения. Магний, его сплавы и соединения. Алюминий, его сплавы и соединения. Цирконий и его сплавы. Нержавеющая сталь и никелевые сплавы. Керамика и керметы. Влияние облучения на конструкционные материалы. Коррозия реакторных конструкционных материалов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
2. Практические занятия			
2.1	Основные компоненты и материалы ядерных реакторов деления	Ядерные и физические свойства материалов. Специфические свойства материалов при их выборе для ядерных реакторов	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205

2.2	Фундаментальные радиационные явления в материалах	Анализ изменения ядерных характеристик материалов при облучении. Изменение физических свойств облучаемых материалов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
2.3	Производство топлива	Сравнительный анализ и перспективы использования керамического топлива.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
2.4	Конструкционные материалы: металлы, керамика, керметы	Сравнительный анализ эксплуатации газовых теплоносителей, проблемы и перспективы использования	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
3. Лабораторные занятия			
3.1	Основные компоненты и материалы ядерных реакторов деления	Моделирование температурных режимов топливной композиции.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
3.2	Фундаментальные радиационные явления в материалах	Моделирование теплового состояния графитового замедлителя.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
3.3	Производство топлива	Исследование эффектов ксенонового отравления в ЯР типа РБМК.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205
3.4	Конструкционные материалы: металлы, керамика, керметы	Кинетика выгорания топлива (при различных обогащениях)	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29205

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Основные компоненты и материалы ядерных реакторов деления	4	4	8	10	26
2	Свойства реакторных материалов и предъявляемые к ним требования	6			10	16
3	Фундаментальные радиационные явления в материалах	6	4	8	10	28
4	Влияние облучения на реакторные материалы; топливо и топливные циклы	6			10	16
5	Производство топлива	6	4	8	10	28
6	Конструкционные материалы: металлы, керамика, керметы	6	4	10	10	30
	Итого:	34	16	34	60	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на

лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Топливо и материалы ядерной техники: учебное пособие для вузов / Л. А. Беляев и др.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). —Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
2.	Свойства конструкционных материалов атомной промышленности: справочник: в 8 т. / под ред. В. В. Козлова, С. В. Стрелкова. —М.: Агентэк, 2006-2009Т. 6: Материалы для РНБ и теплообменных аппаратов АЭС. —2009. —244 с.—Библиогр.: с. 243-244. —ISBN 978-5-903005-09-3
3.	Справочник по ядерной энерготехнологии./ Ф. Ран, А. Адамантиадес, Дж. Кентон, Ч. Браун. —М.: Энергоатомиздат, 1989.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации. Изд. 5-е изд. перераб. и доп. —М.: Книжный дом «ЛИБРО-КОМ», 2009. -480 с
5.	Широков, Сергей Васильевич. Физика ядерных реакторов: учебное пособие / С. В. Широков. — Минск:Вышэйшая школа, 2011. —351 с.: ил.. —ВУЗ студентам высших учебных заведений. — Библиогр.: с. 345.. —ISBN 978-985-06-2006-4.
6.	Ибрагимов М.Х. Ядерные энергетические установки / Ибрагимов М.Х., Ибрагимов И.М.—М.: МГОУ, 2007.-257 с

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
7.	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ.
8.	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ
9.	https://e.lanbook.com – ЭБС «Лань»
10.	https://www.studentlibrary.ru – ЭБС «Консультант студента»
11.	https://urait.ru – Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
12.	https://rucont.ru - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов. Курс для эксплуатационного персонала АЭС. –Севастополь: СИЯЭиП, 2001.–341 с

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий:

- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам.

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория (для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации. Установка для регистрации альфа-излучения различных источников (измерений скорости счета альфа-частиц в воздухе лаборатории при нормальных условиях).

Лаборатория (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специализированная мебель, Комплект учебного оборудования "Работа насосов различных типов"

Типовой комплект учебного оборудования "Механика жидкости -гидравлический удар".

Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы

Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основные компоненты и материалы ядерных реакторов деления	ОПК-2 ПК-2	ОПК-2.1 ПК-2.5 ПК-2.6	Коллоквиум, собеседование по вопросам к зачету
2.	Свойства реакторных материалов и предъявляемые к ним требования			
3.	Фундаментальные радиационные явления в материалах			
4.	Влияние облучения на реакторные материалы; топливо и топливные циклы			
5.	Производство топлива			
6.	Конструкционные материалы: металлы,			

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	керамика, керметы			
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет				Перечень вопросов к зачету Пункт 20.2

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов для коллоквиума:

2. Как реакторы делятся по спектру нейтронов?
3. Приведите примеры кипящих реакторов.
4. Для чего необходима система перегрузки топлива?
5. Какие материалы используются при изготовлении быстрых реакторов?
6. Какие элементы используют для изготовления органов СУЗ и почему?
7. Каким образом классифицируются радиоактивные отходы?
8. Для чего необходима система контроля и обеспечения безопасности?
9. Какой газ может использоваться в качестве теплоносителя в газоохлаждаемых реакторах?
10. Для чего предназначена первичная биологическая защита?
11. Что называют «Ядерным топливным циклом»?
12. Применяются ли отражатели нейтронов в быстрых реакторах?
13. Приведите примеры ядерных энергетических реакторов, которые эксплуатируются в настоящее время
14. До каких температур можно использовать сплавы алюминия в качестве конструкционных материалов?
15. Назовите одно из значимых преимуществ натрия как теплоносителя.
16. Что представляет собой тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ)?
17. Каким образом в реакторе типа CANDU располагаются каналы для размещения ТВС и органы регулирования?
18. Какие излучения присутствуют в работающем реакторе?
19. В качестве чего в реакторе типа РБМК используется графит?
20. Перечислите основные элементы реакторной установки.
21. Какой период по времени занимает «Ядерный топливный цикл»?
22. Что называется наведенной радиоактивностью и к чему она может привести.
23. Возможна ли переработка топлива, и по каким причинам требуется химическая переработка отработавшего топлива.
24. Назвать основные требования, относящиеся к свойствам материалов ядерных реакторов.
25. Почему материалы, используемые в ядерных реакторах, должны быть совместимы, и иметь хорошие теплофизические свойства.
26. Какие требования предъявляются к конструкционным материалам при проектировании элементов ядерных реакторов.
27. Какими свойствами должны обладать материалы, используемые при проектировании элементов ядерных реакторов.
28. Пояснить, что называется обрабатываемостью и совместимостью.
29. Какими механическими свойствами должны обладать конструкционные материалы. Объяснить эти свойства.
30. Возможно ли применение ЭВМ для выбора материалов ядерных реакторов.

31. Перечислить, какие конструкционные материалы, топливо применяется при проектировании ядерных реакторов различного типа (РБМК, ВВЭР, АGR, БН, LWR, PWR, CANDU, HWR, BWR, ИРТ, GCR).
32. Перечислить дефекты кристаллического строения и пояснить их.
33. Какие эффекты возникают при взаимодействии различных частиц с веществом.
34. Как облучение нейтронами влияет на вещество и что называется средним числом смещенных атомов.
35. Как облучение влияет на вещество.
36. Что называется пороговой энергией смещенных атомов.
37. Какие типы радиационных дефектов возникают при облучении быстрыми нейтронами.
38. Объяснить модель атомных смещений и модель пика смещений.
39. Объяснить модель замещающих соударений и модель теплового пика.
40. Классифицировать и описать дефекты в кристаллах.
41. Из потоков, каких частиц состоит ядерное излучение реактора, и какие эффекты при этом возникают.
42. Какое урановое топливо представляет собой воспроизводящие материалы для получения ^{239}Pu и ^{233}U ?
43. Назовите три основных класса урановых сплавов, которые могут сохранять защитную оксидную пленку при температурах примерно 350°C .
44. Назовите основное преимущество металлического топлива.
45. Известно, что магний используют как материал для оболочек твэлов газоохлаждаемых реакторов, перечислите требования, предъявляемые к таким оболочкам.
46. Что называется радиационным ростом? При каких температурах он происходит и напишите, как определяется коэффициент радиационного роста.
47. Назовите различия между радиационным ростом и ростом при термическом циркулировании.
48. Объясните такое понятие как радиационное распухание.
49. Какими качествами обладает оксидное топливо высокой плотности, и какую кристаллическую структуру имеет оксидное топливо.
50. Перечислите негативные факторы, которые сопровождаются при изготовлении керамического уранового топлива.
51. Пояснить процесс получения нитридного топлива и какое процентное содержание кислорода при этом.
52. Как зависит температура плавления различных соединений урана от типа кристаллической структуры (привести пример).
53. Какие методы производства диоксида урана существуют.
54. Назвать наиболее важные теплофизические и механические свойства смешанного керамического уран-плутониевого топлива, и каким образом можно определить теплопроводность топлива.
55. Что называется коэффициентом воспроизводства (КВ) и как его можно определить. Что называется избыточным коэффициентом воспроизводства (ИКВ) и как его можно определить. В чем различие между КВ и ИКВ.
56. Назвать основные радиационные эффекты, которые относятся к смешанному керамическому топливу, и показать графически температурную зависимость теплопроводности облученного UO_2 и $(\text{U}, \text{Pu})\text{O}_2$ топлив.
57. Перечислите проблемы, которые возникают при обращении с металлическим и керамическим плутонием.
58. Какие требования к безопасности и охране здоровья предъявляются при работе с металлическим плутонием и почему.
59. Перечислить и пояснить физические свойства смешанного уран-плутониевого нитридного и нитридного топлив.
60. Что называют керамическим соединением-оксид тория.
61. Что называют керамическим соединением-нитрид тория.

62. Назовите основные требования, предъявляемые к материалам теплоносителя относительно нейтронно-физических свойств.
63. Назовите основные требования, предъявляемые к материалам теплоносителя относительно теплофизических свойств.
64. Основные достоинства и недостатки обычной воды в качестве теплоносителя.
65. Каким образом в водный теплоноситель попадают газы?
66. От каких основных факторов зависит в основном коррозионная агрессивность водного теплоносителя?
67. В реакторах, какого типа теплоносителем является обычная вода?
68. Основные достоинства и недостатки тяжелой воды в качестве теплоносителя.
69. Основные достоинства и недостатки углекислого газа в качестве теплоносителя.
70. В реакторах, какого типа теплоносителем является углекислый газ?
71. Какие факторы способствуют интенсификации термического разложения CO₂?
72. Охарактеризуйте коррозионные свойства углекислого газа.
73. Основные достоинства и недостатки гелия в качестве теплоносителя.
74. В реакторах, какого типа предполагается использование гелия в качестве теплоносителя?
75. Основные достоинства и недостатки воздуха в качестве теплоносителя.
76. Основные достоинства и недостатки жидких металлов в качестве теплоносителей.
77. Дайте сравнительную характеристику теплофизических свойств основных жидкометаллических теплоносителей (натрия, висмута, свинца).
78. Основной недостаток жидкого натрия с точки зрения наведенной радиоактивности.
79. Чем опасно соприкосновение натрия с водой. Как протекает соответствующая реакция?
80. Как влияют примеси на коррозионную активность натрия?
81. Назовите основную причину, почему литий не используется в качестве теплоносителя ядерных реакторов.
82. Назначение конструкционных материалов. Виды конструкционных материалов. Можно ли использовать конструкционные материалы как замедлитель и отражатель в уран-графитовых и водо-водяных энергетических реакторах.
83. Назовите основные требования, предъявляемые к материалам замедлителя относительно нейтронно-физических свойств.
84. Перечислите основные методы регулирования ядерных реакторов.

Критерии оценивания ответа студента:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если демонстрируются: глубокое и прочное усвоение программного материала полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении задания, свободное владение материалом, правильно обоснованные принятые решения.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если демонстрируются: знание программного материала грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний; владение необходимыми навыками при выполнении практических задач.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если демонстрируются: усвоение основного материала, при ответе допускаются неточности, при ответе даются недостаточно правильные формулировки, нарушается последовательность в изложении программного материала, имеются затруднения в выполнении практических заданий.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если демонстрируются: незнание программного материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов к зачету:

1. Классификация материалов ядерной техники.
2. Керамические соединения плутония (классификация, свойства, характеристики, достоинства и недостатки).
3. Влияние облучения на конструкционные материалы.
4. Анализ общих свойств материалов при выборе их для ядерного реактора.
5. Плутоний (пути получения плутония, основные свойства и характеристики).
6. Бериллий и его соединения как конструкционный материал (производство, преимущества и недостатки, свойства и характеристики).
7. Анализ специфических свойств материалов при выборе их для ядерного реактора.
8. Металлический уран (ядерные, физические, теплофизические, механические свойства).
9. Коррозия реакторных конструкционных материалов.
10. Виды дефектов, краткие характеристики.
10. Влияние облучения на урановое топливо, коррозия урана.
11. Алюминий и его сплавы как конструкционный материал (производство, преимущества и недостатки, свойства и характеристики).
12. Радиационное повреждение, взаимодействие ядерного излучения с веществом.
13. Торий (пути получения плутония, основные свойства и характеристики).
14. Цирконий и его сплавы как конструкционный материал (производство, преимущества и недостатки, свойства и характеристики).
15. Влияние облучения на свойства и характеристики материалов.
16. Сплавы урана (виды, основные характеристики, достоинства и недостатки).
17. Аустенитные нержавеющие хромоникелевые стали как конструкционный материал (преимущества и недостатки, свойства и характеристики, виды коррозии).
18. Ядерный топливный цикл.
19. Керамический уран (свойства и характеристики, преимущества и недостатки, способы изготовления, радиационные эффекты).
20. Классификация теплоносителей ЯЭУ, специфические требования, предъявляемые к теплоносителям.
21. Утилизация отработавшего ядерного топлива (определение, специфика, способы решения проблем ОЯТ).
22. Коррозионные эффекты плутониевого топлива.
23. Органические теплоносители (виды, преимущества и недостатки, физические свойства).
24. Оксидное урановое топливо (способы изготовления, физические, теплофизические и механические свойства).
25. Жидкометаллические теплоносители ЯЭУ (виды ЖМТ, преимущества и недостатки, физические свойства).
26. Классификация реакторов.
27. Параметры, определяющие эффекты радиационного повреждения.
28. Водный теплоноситель (виды, преимущества и недостатки, физические свойства).
29. Классификация дефектов кристаллического строения.
30. Смешанное керамическое уран-плутониевое топливо (классификация, достоинства и недостатки, основные, основные этапы переработки и изготовления).
31. Газовые теплоносители (виды, преимущества и недостатки, физические свойства).
32. Возможные модели механизмов радиационного повреждения.
33. Карбид урана (способы изготовления, физические, теплофизические и механические свойства).
34. Керамика и керметы как конструкционный материал (виды, применение, преимущества и недостатки, свойства и характеристики, виды коррозии).
35. Меры предосторожности, безопасности и охраны здоровья при работе с плутониевым топливом.
36. Магний и его сплавы как конструкционный материал (производство, преимущества и недостатки, свойства и характеристики).

1. Какой средний пробег осколков деление в двуокиси урана, мг/см²?
 1. 12,6
 - 2. 10,0**
 3. 5,8
 4. 5,2

2. Какой средний пробег осколков деление в уране, мг/см²?
 - 1. 12,6**
 2. 10,0
 3. 5,8
 4. 5,2

3. Какой средний пробег осколков деление в цирконии, мг/см²?
 1. 12,6
 2. 10,0
 - 3. 5,8**
 4. 5,2

4. Какой средний пробег осколков деление в железе, мг/см²?
 1. 12,6
 2. 10,0
 3. 5,8
 - 4. 5,2**

5. Период полураспада U²³⁵:
 - 1. 8,8*10⁸**
 2. 8*10⁷
 3. 6,8*10⁸
 4. 7*10⁹

6. Чему соответствует механизм: пик деления → сжатие вследствие термонапряжений → переход атомов вследствие анизотропии пластичности?
 1. Теория Котрелла
 - 2. Термомеханическая теория**
 3. Диффузионная теория
 4. Теория коррелятивных ударов

7. Чему соответствует механизм: пик деления → пластическая деформация → переход атомов вследствие анизотропии коэффициента расширения кристалла?
 - 1. Теория Котрелла**
 2. Термомеханическая теория
 3. Диффузионная теория
 4. Теория коррелятивных ударов

8. Чему соответствует механизм: удар → различная плотность атомов → коррелятивный переход?
 1. Теория Котрелла
 2. Термомеханическая теория
 3. Диффузионная теория
 - 4. Теория коррелятивных ударов**

9. Чему соответствует механизм: пик деления → анизотропия коэффициента диффузии → переход с образованием нового слоя атомов?
1. Теория Котрелла
 2. Термомеханическая теория
 - 3. Диффузионная теория**
 4. Теория коррелятивных ударов
10. Под действием чего возникает термическая ползучесть?
1. механическое напряжение в образце
 2. повышенная температура
 3. время эксплуатации
 - 4. все перечисленное**
11. Каким требованиям должны удовлетворять сплавы урана, используемые в качестве ядерного топлива?
- 1) обладать минимальным паразитным захватом нейтронов
 - 2) обеспечивать постоянство форморазмеров, прочность и пластичность в условиях облучения
 - 3) удовлетворять требованиям совместимости с материалом оболочки ТВЭЛ
 - 4) сплав должен иметь по отношению к теплоносителю высокие антикоррозионные и антиэрозионные свойства, препятствующие вымыванию ядерного топлива из ТВЭЛа
1. 1, 3, 4
 2. 2, 3
 - 3. 1, 2, 3, 4**
 4. 3, 4
12. Выберите сплав плутония с повышенной радиационной стойкостью:
1. Pu + 3 – 13 % Al
 - 2. U + Pu + 14 % Mo**
 3. Pu + 3,59 % Ga
 4. Pu + 3,9 – 22,9 % Zr
13. Для какого типа горючего коэффициент воспроизводства в быстрых реакторах (объем активной зоны 3000 л) равен 1,50?
1. Th-U²³³
 - 2. U²³⁸-U²³³**
 3. Th-Pu²³⁹
 4. U²³⁸-Pu²³⁹
14. К какой группе относится чистый Pu²³⁹?
- 1. Pu-A**
 2. Pu-B
 3. Pu-C
 4. Pu-D
15. Из-за чего при облучении в активной зоне реактора образец металлического урана быстро теряет свои, коррозионные механические (прочностные) свойства, изменяются его форморазмеры и даже целостность?
- 1) твёрдое распухание
 - 2) термоциклирование

- 3) газовое распухание
- 4) радиационный рост
- 5) радиационная ползучесть или сверхползучесть
- 1. 1, 3, 5
- 2. 2, 3, 4, 5
- 3. 1, 4, 5
- 4. 1, 2, 3, 4, 5

Вопросы

1. Какие материалы получили распространение в ядерных реакторах?

Алюминий, магний, бериллий, цирконий и его сплавы, нержавеющие аустенитные стали, графит.

2. Что включает в себя второй контур?

Парогенераторы, паропроводы, паровые турбины, сепараторы-пароперегреватели, питательные насосы и трубопроводы, деаэраторы и регенеративные подогреватели.

3. Что из себя представляет корпус реактора?

Это вертикальный цилиндрический сосуд высокого давления с крышкой, имеющей разъем с уплотнением и патрубки для входа и выхода теплоносителя. Внутри корпуса закрепляется шахта, являющаяся опорой для активной зоны и части внутрикорпусных устройств и служащая для организации внутренних потоков теплоносителя.

4. Что называется кампанией топлива?

Время пребывания топлива в активной зоне реактора, работающем на номинальной мощности.

5. Какое главное качество замедлителя?

Способность уменьшать энергию нейтрона до тепловой за минимальное количество нейтрон-ядерных столкновений и при минимальном поглощении нейтронов.