

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



/ Титова Л.В./
20.06.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ Б1.В.03
Б1.В.03 Топливный цикл**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.04.02. Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра ядерной физики **6.**

Составители программы:

к.ф.-м.н., доцент Алейников Алексей Николаевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №5 от 20.05.2025.

8. Учебный год: 2026/2027

Семестр(ы): 3

9.

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- изучение структуры и функционирования ядерного топливного цикла (ЯТЦ), влияния предприятий ЯТЦ на экологию окружающей среды, радиоактивных воздействий на человека и биосферу Земли, гигиенических основ радиационной безопасности.

Задачи учебной дисциплины:

- научить методам контроля антропогенного загрязнения среды и проведения радиационного мониторинга, навыкам работы с радиационными источниками в условиях производства и при выполнении НИИОКР.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина вариативной части цикла Б1.В.ОД (Часть, формируемая участниками образовательных отношений).

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
ПК-3	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих физику кинетических явлений или процессы в реакторах, ускорителях.	ПК-3.4	Знает принцип работы и состав ядерного реактора, требования, предъявляемые к теплоносителям, реакторным материалам и их основные характеристики.	Знать: физико-технические характеристики функционирования ядерно-физических установок, механизмов воздействия излучения на материалы, Уметь: объяснять физику кинетических явлений или процессы в реакторах, ускорителях или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, рассчитывать поле энерговыделения в активной зоне реактора по заданному распределению нейтронов Владеть: расчёта взаимодействия нейтронных потоков с материалами и топливом

ПК-6	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования с оптимизированием методов исследования.	ПК-6.8	Знает основы радиометрических измерений суммарной активности и методы регистрации радионуклидов, методы радиохимического анализа.	Знать: основные методы, применяемые при производстве и рециклировании топлива, применяемые при этом меры ядерной безопасности Уметь: рассчитывать потери реактивности на выгорание, отравление и шлакование ядерного топлива. Владеть: примерного определения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура, соответствующее критическому состоянию реактора
ПК-8	Способен обеспечивать радиационный контроль и экологически безопасную эксплуатацию ядерных энергетических установок с применением	ПК-8.3	Знает методы и задачи радиоэкологии.	Знать: методы и задачи радиоэкологии Уметь: определять эквивалентную индивидуальную и коллективную дозы Владеть: расчетов суточной, месячной и годовой дозовых нагрузок на персонал групп А и Б
		ПК-8.4	Проводит радиационный мониторинг окружающей среды, осуществляет отбор проб и их предварительную	
	технических средств радиационного контроля ЯЭУ и АЭС и вести индивидуальный дозиметрический контроль персонала		подготовку.	
		ПК-8.5	Владеет методами дозиметрии внешнего облучения.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108.

Форма промежуточной аттестации - экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			3 семестр
Аудиторные занятия		26	
в том числе:	лекции	26	26
	практические		

	лабораторные		
Самостоятельная работа	46	46	
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации	Экзамен 36 час.	Экзамен-36 час.	
Итого:	108	108	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Ядерное топливо.	Ядерный топливный цикл. Обогащение. Технологии обогащения: газодиффузионное обогащение, центрифугирование, газодинамическое обогащение. Изготовление твэлов. Основные требования к ядерному топливу. Виды ядерного топлива и топливные циклы. Структура и свойства металлического урана. Влияние облучения на свойства урана. Виды сплавов урана, их свойства и совместимость. Плутоний, как ядерное топливо. Получение плутония и его свойства. Сплавы плутония. Анализ эксплуатации металлического топлива, проблемы и перспективы его использования в ядерной энергетике. Керамическое топливо. Классификация керамического топлива. Керметное топливо. Оксид урана и его свойства.	-
1.2	Топливный цикл в ядерной энергетике	Развитие ядерной энергетики. Ядерный топливный цикл (ЯТЦ). Источники излучения и радиационная безопасность в процессе ЯТЦ. Миграция радионуклидных выбросов в окружающей среде. Образование, переработка и захоронение радиоактивных отходов (РАО). Аварийные ситуации на АЭС. Совершенствование охраны окружающей среды при эксплуатации АЭС. Замкнутый и незамкнутый топливный цикл. Возможность совместного использования «быстрых» и «тепловых» реакторов в едином цикле. Основные компоненты и материалы ядерных реакторов деления. Свойства реакторных материалов и предъявляемые к ним требования. Типы реакторов деления.	-
1.3	Обращение с радиоактивными отходами	Обращение с РАО. Классификация РАО. Отходы, образующиеся в процессе ЯТЦ. Отходы на этапах добычи урана, обогащения, аффинажа и изготовления топлива. Отходы атомных электростанций. Работы с отработанным ядерным топливом. Хранение и захоронение РАО. Фундаментальные радиационные явления в материалах. Влияние облучения на реакторные материалы; топливо и топливные циклы.	-

1.4	Перспективные виды топлива	МОХ-топливо, REMIX-топливо, карбидное и нитридное топливо. Возможность перехода на 5- и 6-летние кампании топлива. Перспективы развития атомной энергетики на новых видах топлива и топливных циклов. Производство ядерного топлива. Свойства делящихся материалов: металлический уран, керамический уран, плутоний, торий. Разделение изотопов в отработанном топливе для замыкания топливного цикла. Понятие рециклирования. Битумирование, стеклование и захоронение высокоактивных продуктов деления урана и плутония.	-
-----	----------------------------	--	---

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Ядерное топливо.	6			11	9	26
2	Топливный цикл в ядерной энергетике	7			12	9	28
3	Обращение с радиоактивными отходами	7			12	9	28
4	Перспективные виды топлива	6			11	9	26
	Итого:	26			46	36	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, открытыми интернет-ресурсами.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников) а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Бойко В.И., Демянюк Г.Д. и др. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения Томск, Изд-во ТПУ, 2005, 490 с.
2	Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 3. Материалы энергетики и энергосбережения [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.К. Федотов, В.М. Анищик, М.С. Тиванов. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2015. — 464 с. — 978-985-06-2556-4
3	Едчик И.А. Физико-технические основы ядерной энергетики [Электронный ресурс] / И.А. Едчик. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2017. — 176 с. — 978-

	985-08-2195-9
--	---------------

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Бойко В.И., Кошелев Ф.П. Ядерные технологии в различных сферах человеческой деятельности. Томск, Изд-во ТПУ, 2006, 342 с.

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

№ п/п	Ресурс
	www.lib.vsu.ru
	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерные физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ, 2018

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 им. Л.Н. Сухотина (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации) (г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 30)	Специализированная мебель, ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной
Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы (г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 40/5)	Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационнообразовательную среду университета Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 301015/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses) Mozilla Firefox (бесплатное и/или свободное ПО) (лицензия: https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/)

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.	Темы 1-4	ПК-3	ПК-3.4	Собеседование
2.	Темы 1-4	ПК-6	ПК-6.8 ПК-6.9	Собеседование
3	Темы 1-4	ПК-8	ПК-8.3 ПК-8.4 ПК-8.5	Собеседование
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Пункт 20.2.1 Вопросы к экзамену

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:

Реферат

Темы рефератов:

1. Производство ядерного топлива.
2. Рециклирование
3. Обработка и хранение ОЯТ
4. Незамкнутый топливный цикл
5. Замкнутый топливный цикл
6. Организация и хранение высокоактивных ОЯТ
7. Организация и хранение низкоактивных ОЯТ
8. Образование и переработка жидких и твердых РАО на АЭС
9. Утилизация ЖРО на АЭС
10. Керметное топливо
11. Карбидное топливо
12. Нитридное топливо

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное и глубокое знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики, владение основными понятиями дисциплины. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Полное знание учебно-программного материала на основе качественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Знание основных понятий, рассматриваемых в рамках данного курса.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Знание основного программного материала на основе феноменологической характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	<i>Неудовлетворительно</i>

20.2 Промежуточная аттестация Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

20.2.1. Перечень вопросов к экзамену:

1. Классификация материалов ядерной техники.
2. Основные виды топлива
3. Современные и перспективные виды топлива.
4. Керамические соединения плутония (классификация, свойства, характеристики, достоинства и недостатки).
5. Влияние облучения на конструкционные материалы.
6. Анализ общих свойств материалов при выборе их для ядерного реактора.
7. Плутоний (пути получения плутония, основные свойства и характеристики).
8. Анализ специфических свойств материалов при выборе их для ядерного реактора.
9. Металлический уран (ядерные, физические, теплофизические, механические свойства).
10. Влияние облучения на урановое топливо, коррозия урана.
11. Радиационное повреждение, взаимодействие ядерного излучения с веществом.
12. Торий (пути получения плутония, основные свойства и характеристики).
13. Влияние облучения на свойства и характеристики материалов.
14. Сплавы урана (виды, основные характеристики, достоинства и недостатки).
15. Ядерные топливные циклы.
16. Керамический уран (свойства и характеристики, преимущества и недостатки, способы изготовления, радиационные эффекты).
17. Утилизация отработавшего ядерного топлива (определение, специфика, способы решения проблем ОЯТ).
18. Коррозионные эффекты плутониевого топлива.
19. Оксидное урановое топливо (способы изготовления, физические, теплофизические и механические свойства).
20. Смешанное керамическое уран-плутониевое топливо (классификация, достоинства и недостатки, основные этапы переработки и изготовления).
21. Карбид урана (способы изготовления, физические, теплофизические и механические свойства).
22. Керамика и керметы как конструкционный материал (виды, применение, преимущества и недостатки, свойства и характеристики, виды коррозии).

23. Меры предосторожности, безопасности и охраны здоровья при работе с плутониевым топливом.
24. Магний и его сплавы как конструкционный материал (производство, преимущества и недостатки, свойства и характеристики).
25. Каким образом классифицируются радиоактивные отходы?
26. Для чего необходима система контроля и обеспечения безопасности?
27. Что называют «Ядерным топливным циклом»?
28. Какой период по времени занимает «Ядерный топливный цикл»?
29. Что называется наведенной радиоактивностью и к чему она может привести.
30. Возможна ли переработка топлива, и по каким причинам требуется химическая переработка отработавшего топлива.
31. Почему материалы, используемые в ядерных реакторах должны быть совместимы, и иметь хорошие теплофизические свойства.
32. Возможно ли применение ЭВМ для выбора материалов ядерных реакторов.
33. Перечислить, какие конструкционные материалы, топливо и его циклы применяется при проектировании ядерных реакторов различного типа (РБМК, ВВЭР, AGR, БН, LWR, PWR, CANDU, HWR, BWR, IPT, GCR).
34. Как облучение влияет на вещество.
35. Из потоков каких частиц состоит ядерное излучение реактора, и какие эффекты при этом возникают.
36. Какие воспроизводящие материалы используются для получения ^{239}Pu и ^{233}U ?
37. Назовите основное преимущество металлического топлива.
38. Объясните такое понятие как радиационное распухание.
39. Пояснить процесс получения нитридного топлива, и какое процентное содержание кислорода при этом.
40. 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.
41. Назвать основные радиационные эффекты, которые относятся к смешанному керамическому топливу, и показать графически температурную зависимость теплопроводности облученного UO_2 топлива.

42. Перечислите проблемы, которые возникают при обращении с металлическим и керамическим плутонием.
43. Какие требования к безопасности и охране здоровья предъявляются при работе с металлическим плутонием и почему.
44. Перечислить и пояснить физические свойства смешанного уран-плутониевого нитридного и нитридного топлив.
45. Что называют керамическим соединением - оксид тория.
46. Что называют керамическим соединением - нитрид тория.
47. Дайте сравнительную характеристику теплофизических свойств основных жидкометаллических теплоносителей (натрия, висмута, свинца).
48. Как организовано хранение ОЯТ?
49. Возможно ли повторное использование радиоактивных конструкционных материалов ТВС?
50. Организация и методы контроля за окружающей средой
51. Образование и переработка жидких и твердых РАО на АЭС
52. Ядерный топливный цикл
53. Радиационная чувствительность организма
54. Отходы атомных электростанций
55. Производство ядерного топлива
56. Обращение с радиоактивными отходами

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное и глубокое знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики, владение основными понятиями дисциплины. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Полное знание учебно-программного материала на основе качественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Знание основных понятий, рассматриваемых в рамках данного курса.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>

Знание основного программного материала на основе феноменологической характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	<i>Неудовлетворительно</i>
---	---	----------------------------

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.