

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок



«11» января 2021 г.

Регистрационный № УД- 9616 /уч.

МАТЕРИАЛЫ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности**

1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

Минск 2021

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-142/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В. М. Анищик — профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

РЕЦЕНЗЕНТ:

Ф.Ф. Комаров — заведующий лабораторией элионики Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» БГУ, член-корреспондент НАНБ, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики твердого тела физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 4 от 23.10.2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 07.12.2020 г.)

Заведующий кафедрой _____



В.В. Углов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Материалы ядерной техники» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерные физики и технологии.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – получить студентам базовые знания о строении и структуре различного класса материалов, о закономерностях изменения их свойств при различных внешних воздействиях, решение инженерных задач в областях физики твердого тела и теплофизики.

В учебном курсе рассматриваются основные понятия о структуре и свойствах конструкционных и ядерно-горючих материалов, используемых на атомных электрических станциях. Изложены вопросы прочности, совместимости, коррозионной и радиационной стойкости конструкционных и топливных материалов.

Задачей учебной дисциплины является изучение понятий о структуре и свойствах конструкционных (металлических и неметаллических) и топливных материалов, используемых на атомных электрических станциях. Данная задача выполняется непосредственно при прослушивании лекций, при самостоятельной работе с технической литературой, учебными пособиями, справочниками, стандартами и ГОСТами.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: дисциплина основана на знаниях и представлениях, заложенных в дисциплинах «Введение в специализацию», «Термодинамика и статистическая физика», «Физическое материаловедение», необходима для изучения материалов, применяемых в ядерноэнергетических установках, в дисциплинах «Ядерные энергетические установки», «Оборудование АЭС», «Атомные электрические станции».

Изучение дисциплины «Материалы ядерной техники» проходит совместно с дисциплиной «Тепло-массоперенос в ядерноэнергетических установках», которая включает в себя выполнение лабораторных работ по изучаемым тематикам.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать:

- свойства конструкционных и ядерно-горючих материалов, используемых на атомных электрических станциях;
- закономерности изменения структуры и свойств реакторных материалов под действием облучения;

уметь:

- осуществлять подбор наиболее эффективных методов исследования, в том числе и взаимодополняющих, при решении поставленных задач;

- применять знания физико-химических основ технологических процессов при разработке материалов с необходимым набором свойств;

владеть:

- основными принципами выбора материалов для конкретных условий эксплуатации в атомной энергетике с учетом их элементного и фазового состава, физико-механических свойств.

Требования к компетенциям

Программа учебной дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013 *специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии*, введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 №88.

Освоение учебной дисциплины «Материалы ядерной техники» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

Академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

Социально-личностные компетенции:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

Профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиями, проектам и решениям.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8-ом семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Материалы ядерной техники» отведено 72 часа, в том числе 40 аудиторных часов, из них: лекции – 22 часа, лабораторные работы – 16 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Требования, предъявляемые к реакторным материалам.

Общие требования. Требования к материалам активной зоны. Требования к материалам, работающим вне активной зоны. Физические и технологические аспекты выбора материалов.

Тема 2. Процессы, протекающие в материалах при облучении.

2.1. Образование радиационных дефектов.

2.2. Структурные и фазовые изменения в металлах и сплавах при различных видах облучения. Упрочнение.

Тема 3. Теплоносители ядерных энергетических установок.

Водный теплоноситель. Жидкометаллические теплоносители. Газовые теплоносители. Органические теплоносители.

Тема 4. Технологические характеристики реакторных материалов.

Жаропрочность и жаростойкость. Радиационная стойкость конструкционных материалов. Ползучесть. Распухание. Совместимость реакторных материалов.

Тема 5. Коррозия реакторных материалов.

Классификация коррозионных процессов. Кинетика катодных процессов. Кинетика анодных процессов. Влияние различных факторов на процессы коррозии. Требования к коррозионностойким сталям.

Тема 6. Конструкционные материалы активной зоны.

6.1. Бериллий. Графит. Алюминий и его сплавы.

6.2. Магний и его сплавы. Цирконий и его сплавы. Аустенитные хромоникелевые стали. Другие материалы.

Тема 7. Материалы корпуса реактора и других элементов ядерных энергетических установок.

Перлитные стали. Хромистые нержавеющие стали. Медные сплавы. Титан и его сплавы.

Тема 8. Материалы для топливных элементов.

Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. Уран и его сплавы. Плутоний и его сплавы. Торий и его сплавы. Керамическое и дисперсионное ядерное топливо.

Тема 9. Материалы защиты.

Цемент и бетон. Боросодержащие материалы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Требования, предъявляемые к реакторным материалам.	2						Устный опрос, дискуссия
2	Процессы, протекающие в материалах при облучении.	4						
	2.1. Образование радиационных дефектов.	2						Устный опрос, дискуссия
	2.2. Структурные и фазовые изменения в металлах и сплавах при различных видах облучения. Упрочнение.	2						Устный опрос, дискуссия
3	Теплоносители ядерных энергетических установок.	2						Устный опрос, дискуссия
4	Технологические характеристики реакторных материалов.	2			6			Устный опрос, дискуссия, отчет по лабораторной работе
5	Коррозия реакторных материалов.	2			5			Устный опрос, дискуссия, отчет по лабораторной работе
6	Конструкционные материалы активной зоны.	4						
	6.1. Бериллий. Графит. Алюминий и его сплавы.	2						Устный опрос, дискуссия
	6.2. Магний и его сплавы. Цирконий	2						Устный опрос, дискуссия

	и его сплавы. Аустенитные хромоникелевые стали. Другие материалы.							сия
7	Материалы корпуса реактора и других элементов ядерных энергетических установок.	2			5			Устный опрос, дискуссия, отчет по лабораторной работе
8	Материалы для топливных элементов.	2						Устный опрос, дискуссия
9	Материалы защиты.	2					2	Устный опрос, дискуссия, контрольная работа по темам 1-9
	ИТОГО	22			16		2	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Скоров Д.М. Реакторное материаловедение. / Скоров Д.М., Бычков Ю.Ф., Дашковский А.И. М.: Атомиздат. 1979. 238с.
2. Герасимов В.В. Материалы ядерной техники. / Герасимов В.В., Монахов А.С. М.: Энергоиздат. 1982. 288с.
3. Конструкционные материалы ядерных реакторов. Т.1. М.: Атомиздат. 1972. 375с.
4. Урсу И. Физика и технология ядерных материалов. / Урсу И. М.: Энергоатомиздат. 1988. 297с.
5. Герасимов В.В. Коррозия реакторных материалов. / Герасимов В.В. М.: Атомиздат. 1980. 322 с.
6. Амаев А.Д. Радиационная повреждаемость и работоспособность конструкционных материалов. / Амаев А.Д., Крюков А.М. Неклюдов И.М., Паршин А.М., Платонов П.А., Тихонов А.Н., Хлопкин Н.С., Штромбах Я.И. С.-П. Политехника. 1997. 311 с.
7. Сокурский Ю.Н. Уран и его сплавы. / Сокурский Ю.Н., Стерлин Я.М., Федорченко В.А. М.: Атомиздат. 1971. 211 с.
8. Виноградов В.В., Виноградов А.В., Морозов М.И., Румянцева В.И., Румянцева В.И. Физико-химические методы исследования материалов. Учебно-методическое пособие. - СПб: Университет ИТМО, 2019. - 72 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Фрост Б. Твэлы ядерных реакторов. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат. 1986. 332 с.
2. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. / Под общ. ред. П.Л.Кириллова. М: ИздАТ. 2007. 194 с.
3. Композиционные материалы: Справочник. / Под ред. Д.М. Каршиноса. Киев: Наукова думка. 1985. 592 с.
4. Майнер У.Н. Плутоний: Справочник по редким металлам. Пер. с англ./ Под ред. В.Е. Плющева. М.: Мир. 1965. 529 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования оценки текущей успеваемости

Формой текущей аттестации по дисциплине «Материалы ядерной техники» учебным планом предусмотрен зачет.

Текущий контроль знаний по дисциплине проводится во время лекций, лабораторных занятий и по итогам управляемой самостоятельной работы.

Оценка текущей успеваемости (T) по дисциплине в семестре складывается из оценки за выполнение контрольной работы ($T_{КР}$) и оценки, полу-

ченной за выполнение цикла лабораторных работ по дисциплине «Материалы ядерной техники» (T_L):

$$T = 0,5 \cdot T_{KP} + 0,5 \cdot T_L$$

Контрольное мероприятие проводится в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. На выполнение контрольной работы отводится 90 минут, выполненная работа оценивается по десятибалльной системе. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольное мероприятие, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Отчеты по лабораторным работам проводятся в форме устного опроса. Вопросы формулируются в форме, подразумевающей не только краткий ответ, но и возможность краткого обоснования данного ответа. Каждая работа оценивается по десятибалльной системе и средневзвешенное значение оценок по всем работам служит оценкой за выполнение цикла лабораторных работ.

К сдаче зачета допускаются студенты, выполнившие контрольную работу и защитившие отчеты по лабораторным работам на удовлетворительные оценки.

Примерная тематика лабораторных занятий

Лабораторная работа 1. Структура углеродистых сталей.

Приобретение навыков работы с диаграммой состояния сплавов системы Fe-C, построение кривых охлаждения для составов C_1 и построение для данных сплавов зависимости долей жидкой и твердой фаз от температуры.

Лабораторная работа 2. Зёрненная структура металлов.

Освоение метода случайных секущих определения среднего размера зерна поликристалла (на моделях зеренной структуры металла).

Лабораторная работа 3. Определение пороговой энергии смещения атомов в металлах.

Определение пороговой энергии смещения атомов в металлах по экспериментальным значениям изменения электросопротивления облученных образцов при различных температурах облучения и для различных кристаллографических направлений.

Примерный перечень тем для устного опроса по лабораторным работам

1. Диаграмма состояний и ее назначение.
2. Основные типы диаграмм состояний бинарных сплавов.

3. Диаграмма состояния сплавов системы Fe-C.
4. Метод случайных секущих определения среднего размера зерна поликристалла.
5. Пороговая энергия смещения атомов в металлах.
6. Схема развития каскада смещений и каскадная функция.
7. Статические смещения атомов и динамические смещения.
8. Определение пороговой энергии смещения атомов в металлах по изменению электросопротивления.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В рамках управляемой самостоятельной работы студент выполняет контрольную работу по всем темам учебной дисциплины. Контрольная работа проводится в письменном виде и включает 5-10 вопросов (задач). По согласованию с преподавателем при подготовке ответа могут использоваться калькуляторы и справочные пособия.

Примерный перечень вопросов контрольной работы:

- спектр излучения атомного реактора;
- механизмы упрочнения;
- механизмы ползучести;
- керамическое ядерное топливо;
- механизмы пластической деформации;
- местная коррозия.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка устных сообщений по вопросам, связанным с изучением материалов, используемых в атомной энергетике, экспериментальными методами исследования их физических свойств, теоретическое рассмотрение которых проходит в процессе лекционных занятий.

Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы,

применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым тематикам;
- подготовка к контрольной работе;
- подготовка к защите лабораторных работ;
- подготовка к зачету.

Примерный перечень вопросов к зачету

Билет на зачете включает два вопроса, на подготовку которых отводится не менее 45 минут. При подготовке к устному ответу по решению преподавателя допускается использование учебной и научной литературы. Вопросы в состав билетов выбираются из следующего примерного перечня:

1. Требования, предъявляемые к материалам активной зоны.
2. Требования к материалам, работающим вне активной зоны.
3. Физические и технологические аспекты выбора материалов активной зоны.
4. Процессы, протекающие в материалах при облучении.
5. Образование радиационных дефектов.
6. Структурные и фазовые изменения в металлах и сплавах при различных видах облучения.
7. Упрочнение материалов при облучении.
8. Водный теплоноситель.
9. Жидкометаллические теплоносители.
10. Газовые теплоносители.
11. Органические теплоносители.
12. Жаропрочность и жаростойкость реакторных материалов.
13. Радиационная стойкость конструкционных материалов. Ползучесть. Распухание.
14. Совместимость реакторных материалов.
15. Коррозия реакторных материалов.
16. Классификация коррозионных процессов. Кинетика катодных процессов. Кинетика анодных процессов.

17. Влияние различных факторов на процессы коррозии.
18. Требования к коррозионноустойчивым сталям.
19. Конструкционные материалы активной зоны. Бериллий. Графит.
20. Алюминий и его сплавы. Магний и его сплавы. Цирконий и его сплавы. Другие материалы.
21. Аустенитные хромоникелевые стали.
22. Материалы корпуса реактора и других элементов ядерных энергетических установок.
23. Перлитные стали. Хромистые нержавеющие стали.
24. Медные сплавы. Титан и его сплавы.
25. Материалы для топливных элементов.
26. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов.
27. Уран и его сплавы.
28. Плутоний и его сплавы.
29. Торий и его сплавы.
30. Керамическое и дисперсионное ядерное топливо.
31. Материалы защиты.
32. Цемент и бетон. Боросодержащие материалы.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Ядерные энергетические установки	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 4 от 23.10.2020 г.)
Оборудование АЭС	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 4 от 23.10.2020 г.)
Атомные электрические станции	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 4 от 23.10.2020 г.)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____/____ учебный год

№ № ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
физики твердого тела
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов