

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
Перспективные материалы ядерного топлива

**Код модуля**  
1143670

**Модуль**  
Материалы в атомной энергетике

**Екатеринбург**

Оценочные материалы составлены автором(ами):

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия, имя, отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Волкович Владимир Анатольевич	кандидат наук, доцент	Доцент	редких металлов и наноматериалов

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Т.Г. Комарова

**Авторы:**

- Волкович Владимир Анатольевич, Доцент, редких металлов и наноматериалов

## 1. СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ Перспективные материалы ядерного топлива

1.	Объем дисциплины в зачетных единицах	4	
2.	Виды аудиторных занятий	Лекции Практические/семинарские занятия	
3.	Промежуточная аттестация	Экзамен	
4.	Текущая аттестация	Контрольная работа	2
		Реферат	1

## 2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ИНДИКАТОРЫ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ Перспективные материалы ядерного топлива

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предъявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины, указанного в табл. 1.3 РПМ-РПД.

Таблица 1

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)	Контрольно-оценочные средства для оценивания достижения результата обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-1 -Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук П-1 - Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и инженерных наук У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания	Контрольная работа №1 Контрольная работа №2 Лекции Практические/семинарские занятия Реферат Экзамен

	фундаментальных и общеинженерных наук	
ПК-7 -Способен создавать новые конструкционные материалы с заданным комплексом свойств для конкретных изделий с учетом рационального расходования основных и вспомогательных материалов и экологических последствий применения	З-1 - Выполнить обзор отечественных и международных достижений в области технологий материалов З-2 - Рекомендовать методы формирования показателей эффективности и конкурентоспособности технологий материалов П-2 - Разрабатывать, в соответствии с заданным комплексом свойств для конкретных изделий с учетом рационального расходования основных и вспомогательных материалов и экологических последствий применения, технологии материалов У-1 - Представить критический анализ и обобщение опыта проектирования технологий материалов У-3 - Организовать проведение необходимых исследований и экспериментальных работ в области создания новых технологий материалов	Контрольная работа №1 Контрольная работа №2 Лекции Практические/семинарские занятия Реферат Экзамен

### 3. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ В БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БРС)

#### 3.1. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.5</b>		
Текущая аттестация на лекциях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>реферат</i>	3,8	100
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.6</b>		

<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.5</b>		
<b>Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<i>контрольная работа №1</i>	3,12	50
<i>контрольная работа №2</i>	3,15	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям– 0.4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям–экзамен</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям– 0.6</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий –не предусмотрено</b>		
<b>Текущая аттестация на лабораторных занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям -не предусмотрено</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям –нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено</b>		
<b>4. Онлайн-занятия: коэффициент значимости совокупных результатов онлайн-занятий –</b>		
<b>Текущая аттестация на онлайн-занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по онлайн-занятиям -</b>		
<b>Промежуточная аттестация по онлайн-занятиям –</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по онлайн-занятиям –</b>		

### 3.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта

<b>Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта– не предусмотрено</b>		
<b>Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта– защиты – не предусмотрено</b>		

## 4. КРИТЕРИИ И УРОВНИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

4.1. В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре/институте критерии (признаки) оценивания достижений студентов по дисциплине модуля (табл. 4) в рамках контрольно-оценочных мероприятий на соответствие указанным в табл.1 результатам обучения (индикаторам).

Таблица 4

**Критерии оценивания учебных достижений обучающихся**

<b>Результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания учебных достижений, обучающихся на соответствие результатам обучения/индикаторам</b>
Знания	Студент демонстрирует знания и понимание в области изучения на уровне указанных индикаторов и необходимые для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Умения	Студент может применять свои знания и понимание в контекстах, представленных в оценочных заданиях, демонстрирует освоение умений на уровне указанных индикаторов и необходимых для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Опыт /владение	Студент демонстрирует опыт в области изучения на уровне указанных индикаторов.
Другие результаты	Студент демонстрирует ответственность в освоении результатов обучения на уровне запланированных индикаторов. Студент способен выносить суждения, делать оценки и формулировать выводы в области изучения. Студент может сообщать преподавателю и коллегам своего уровня собственное понимание и умения в области изучения.

4.2 Для оценивания уровня выполнения критериев (уровня достижений обучающихся при проведении контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля) используется универсальная шкала (табл. 5).

Таблица 5

**Шкала оценивания достижения результатов обучения (индикаторов) по уровням**

<b>Характеристика уровней достижения результатов обучения (индикаторов)</b>				
<b>№ п/п</b>	<b>Содержание уровня выполнения критерия оценивания результатов обучения (выполненное оценочное задание)</b>	<b>Шкала оценивания</b>		
		<b>Традиционная характеристика уровня</b>		<b>Качественная характеристика уровня</b>
1.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты в полном объеме, замечаний нет	Отлично (80-100 баллов)	Зачтено	Высокий (В)
2.	Результаты обучения (индикаторы) в целом достигнуты, имеются замечания, которые не требуют обязательного устранения	Хорошо (60-79 баллов)		Средний (С)

3.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты не в полной мере, есть замечания	Удовлетворительно (40-59 баллов)		Пороговый (П)
4.	Освоение результатов обучения не соответствует индикаторам, имеются существенные ошибки и замечания, требуется доработка	Неудовлетворительно (менее 40 баллов)	Не зачтено	Недостаточный (Н)
5.	Результат обучения не достигнут, задание не выполнено	Недостаточно свидетельств для оценивания		Нет результата

## 5. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

### 5.1. Описание аудиторных контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля

#### 5.1.1. Лекции

Самостоятельное изучение теоретического материала по темам/разделам лекций в соответствии с содержанием дисциплины (п. 1.2. РПД)

#### 5.1.2. Практические/семинарские занятия

Примерный перечень тем

1. Основные физико-химические, механические и термодинамические свойства нитридов урана и плутония.

2. Совместимость мононитридного топлива с конструкционными материалами.

3. Обращение с облучённым нитридным топливом.

4. Особенности и перспективы использования дисперсного ядерного топлива.

5. Выбор материалов матрицы и топлива, их влияние на свойства дисперсного топлива.

6. Совместимость компонентов дисперсного топлива.

LMS-платформа

1. не предусмотрено

### 5.2. Описание внеаудиторных контрольно-оценочных мероприятий и средств текущего контроля по дисциплине модуля

Разноуровневое (дифференцированное) обучение.

#### Базовый

##### 5.2.1. Контрольная работа №1

Примерный перечень тем

1. Металлическое урановое топливо

Примерные задания

1. Содержание каких примесей в уране не должно превышать  $10 \times 10^{-6}$  и  $10 \times 10^{-3}$  %? И почему? Какие примеси в уране считаются допустимыми? Почему и в каком количестве? Какую чистоту имеет промышленный уран, используемый в атомной энергетике?

2. Опишите поведение роста при термоциклировании в монокристаллическом  $\square$ -уране, поликристаллическом  $\square$ -уране с беспорядочной ориентацией кристаллов и в поликристаллическом  $\square$ -уране, имеющем текстуру деформации. Напишите формулу, характеризующую величину роста урана при термоциклировании. От чего зависит величина роста?

3. Каким образом и при каких условиях проявляется жеванность образцов урана? Как можно устранить жеванность?

4. При каких температурах наблюдается максимальный радиационный рост урана, при каких он прекращается? При каких температурах начинается «кавитационное распухание»? В чем оно заключается?

5. Как влияет степень выгорания и температура на процесс распухания легированного топлива? Приведите примеры.

6. Какие процессы играют основную роль при контактном взаимодействии материалов оболочки и топлива? опишите кратко эти процессы. Что образуется при этом, от чего зависит?

7. Опишите особую роль искусственного неделящегося нуклида  $^{236}\text{U}$  среди других нуклидов урана. В результате чего он образуется и в каком количестве? К чему приводит накопление  $^{236}\text{U}$  в ядерном топливе?

8. Что влияет на рост урана при термоциклировании? Какой уран растет быстрее и почему (опишите причину, вызванную структурными особенностями поликристаллического урана)?

9. Опишите поведение радиационного роста в монокристаллическом  $\square$ -уране, поликристаллическом  $\square$ -уране с беспорядочной ориентацией кристаллов и в поликристаллическом  $\square$ -уране, имеющем текстуру деформации. От чего зависит величина роста?

10. Что такое распухание? Чему оно препятствует? За счет чего происходит твердое распухание урана? Сколько процентов составляет твердое распухание? В чем основная разница между радиационным ростом и распуханием?

11. Какая конструкция уранового сердечника является более устойчивой против распухания и почему? За счет чего можно при этом повысить глубину выгорания топлива? Во сколько раз она может возрасти по сравнению с глубиной в случае с сердечниками другой (какой) конструкции?

12. Отметьте технологические особенности термической обработки урана (какие из них являются наиболее существенными, к чему приводят, на что влияют либо не влияют)

13. От каких факторов зависит ползучесть урана? Как и от чего изменяется ее скорость?

14. Что происходит с кристаллами урана при деформации (штамповки, прокатке, прессовании)? Как называется это явление? От чего оно зависит? На что влияет? Что предпринимают, чтобы устранить это явление?

15. Какие факторы оказывают большое влияние на рост урана при термоциклировании? Объясните, как это происходит и к чему приводит. Приведите пример (на сколько процентов происходит изменение роста, на сколько процентов – изменение плотности)

16. Когда начинается газовое распухание? Что при этом происходит? Как ведут себя в кристаллической решетке газовые пузырьки

17. Как влияет нейтронное облучение на механические свойства урана? Какие из них изменяются и каким образом?



18. Что повышает сопротивление коррозии урана? Какие группы урановых материалов могут противостоять коррозии при температурах ~350 оС? От чего увеличивается скорость коррозии урана?

19. Какие виды коррозии могут развиваться в уране в воде в зависимости от температуры и почему? Напишите возможные реакции, протекающие с ураном с насыщенной кислородом воде.

20. Опишите, как влияют на рост урана параметры термоцикла и режимы нагрева и охлаждения. Как при этом изменяется Gt? В чем особенность текстурированного урана?

21. Каким образом легирующие добавки влияют на рост урана при термоциклировании? Назовите наиболее распространенные легирующие уран элементы. В каком количестве они должны присутствовать? Нарисуйте график «зависимость удлинения от количества циклов для урана с различным содержанием легирующей добавки».

22. Перечислите меры, способные уменьшить радиационный рост сердечников ТВЭЛов из урана и его сплавов. Какие дополнительные условия нужно соблюдать, если некоторые из принятых мер приводят к увеличению сечения захвата тепловых нейтронов в топливе и материале оболочки?

23. Каким параметром характеризуется газовое распухание топлива? Напишите формулу. Как еще можно выразить величину распухания?

24. О чем свидетельствует снижение предела прочности облученного урана и невозможность ее восстановления при обжиге? Почему и как это происходит?

25. Как влияют на коэффициент радиационного роста урана условия термомеханической обработки (степень деформации, температура прокатки, закалка.). Чему должны способствовать способы обработки урана, чтобы уменьшить радиационный рост? Как влияет при это размер зерна?

26. Перечислите условия, при которых скорость роста урана при термоциклировании является максимальной. Как влияет размер зерна урана и размер образцов на скорость роста при термоциклировании?

27. Как происходит радиационный рост урана до 300 оС (в области  $\alpha$ -фазы) по разным кристаллографическим направлениям? Какие силы действуют на кристаллографические направления при облучении?

28. Перечислите сходства при термоциклическом и радиационном росте урана.

29. Сравните оксидную и гидридную коррозию урана в воде. Как они развиваются, от чего зависят, на что оказывают влияние, к чему приводят? Напишите реакции.

30. Какие промежуточные слои используют иногда для сцепления уранового сердечника с алюминиевой оболочкой? Какие новые слои при этом образуются? Напишите их состав. Опишите скорость и глубину проникновения при данной температуре. От чего зависит скорость их образования и скорость их взаимного проникновения? В чем заключается действие этих слоев?

31. К чему приводит многократное термоциклирование поликристаллических урановых образцов? Во время каких процессов в реакторе топливо подвергается перепадам температур?

32. При какой температуре происходит радиационный рост урана? Чем характеризуется радиационный рост урана? Напишите формулу (от чего зависит величина, характеризующая радиационный рост).

33. Перечислите различия при термоциклическом и радиационном росте урана.

34. Как и за счет чего можно снизить газовое распухание урана? Приведите примеры.
35. Как облучение влияет на ползучесть урана? Какие факторы определяют скорость ползучести? При каких условиях наблюдается ускорение ползучести урана?
36. Что еще является важной задачей закалки при термообработке урановых сплавов помимо измельчения зерна? Для чего это нужно? Опишите, что и каким образом происходит при закалке (кроме того, что происходит измельчение зерна), какие режимы закалки следует выбирать и почему? Почему после закалки исключается холодная обработка урановых твэлов?
37. Как изменяется прочность (пластичность) урана в зависимости от температуры (при переходе через температуры фазовых превращений)?
38. Как развивается газовое распухание урана в интервале 450–500 °С? Как при этом изменяются скорость распухания, форма образцов и структура, как ведут и изменяются газовые пузырьки? Чем еще влияет на рост газового распухания при повышении температуры?
39. К чему приводит распухание урановых образцов, облученных при высоких температурах (~600 °С) до выгораний 0,45–0,7 ат.%? Какие изменения наблюдаются в структуре урановых образцов? С чем это связано, чем вызвано, к чему приводит? В чем отличие распухания  $\alpha$ - и  $\gamma$ -сплавов урана при высокотемпературном облучении?
40. Почему не проводят горячую обработку урана в  $\alpha$ -фазе?
41. Какие роли выполняют элементы, легирующие уран? Чему способствует их введение? Какому важному требованию должны соответствовать все элементы, легирующие уран?
42. Опишите последовательность технологических операций, позволяющих с помощью термической обработки получить мелкозернистый уран.

LMS-платформа

1. не предусмотрено

### 5.2.2. Контрольная работа №2

Примерный перечень тем

1. Металлическое плутониевое и ториевое топливо

Примерные задания

Какое ценное качество проявляется у плутония в процессе переработки отработанного ядерного топлива и чем это обусловлено?

2. Почему не проводят обработку давлением плутония в  $\alpha$ - или в  $\beta$ -фазе? В каком температурном интервале (в области существования какой фазы) лучше всего проводить деформацию плутония? Какие, тем не менее, негативные последствия могут иметь место после охлаждения изделий из области данной фазы?

3. К чему приводит взаимодействие продуктов  $\alpha$ -распада  $^{239}\text{Pu}$  с его кристаллической решеткой?

4. Что представляют собой сильно разбавленные сплавы плутония? Расскажите на каком-либо примере.

5. Встречается ли плутоний в природе? Если встречается, то в каких количествах? Откуда в настоящее время добывается плутоний и каким методом?

6. Назовите свойства плутония, которые являются нетипичными, а в некоторых случаях даже аномальными (численные значения, если не помните. можно не списывать).

7. Для чего плутоний легируют металлами Al, Ga, Tl, Ce, Zr, Ti, Hf Th, Zn и др.? А для чего его легируют металлами Fe, Co и Ni?
8. Что является причиной саморазогрева плутония?
9. Сравните, как изменяется со временем изотопный состав плутония в тепловом и быстром реакторе (переписывать данные по изотопному составу не надо!)
10. Чем обусловлена перспектива использования плутония в виде жидкометаллического топлива?
11. В чем преимущество уран-плутониевых сплавов? Для чего в них вводят дополнительные легирующие элементы и какие?
12. Почему облучение тория даже флюенсом до 1021 нейтронов /см<sup>2</sup> практически не приводит к размерным изменениям ториевых образцов?
13. Благодаря чему использование <sup>239</sup>Pu в быстром реакторе позволяет осуществлять расширенное воспроизводство ядерного топлива?
14. Что является характерным элементом микроструктуры плутония? Чем вызвано его появление? Что усиливает образование данных элементов? Какой объем может составлять данный элемент от объема металла?
15. За счет чего снижается плотность плутония при термоциклировании между β- и α-областями?
16. Какие примеси и каким образом влияют на механические свойства тория (отметить, какие сильнее, а какие слабее; назвать эти самые свойства)? Сравните свойства чистого тория и тория с примесями.

LMS-платформа

1. не предусмотрено

### 5.2.3. Реферат

Примерный перечень тем

1. Плотное ядерное топливо.
2. Способы стабилизации гамма-фазы металлического урана при низких температурах.
3. Перспективы использования сплавов урана для производства ядерного топлива.
4. Способы получения нитридного топлива.
5. Возможность использования карбидов урана в качестве ядерного топлива.
6. Методология разработки дисперсионного ядерного топлива.
7. Производство металлических тепловыделяющих элементов ядерных энергетических реакторов.
8. Поведение оксидов урана и плутония при реакторном облучении.
9. Химическое состояние продуктов деления в облучённом оксидном ядерном топливе.

Примерные задания

LMS-платформа

1. не предусмотрено

### 5.3. Описание контрольно-оценочных мероприятий промежуточного контроля по дисциплине модуля

#### 5.3.1. Экзамен

Список примерных вопросов

1. Классификация материалов ядерного топлива.
  2. Требования, предъявляемые к материалам ядерного топлива.
  3. Поведение ядерного топлива при реакторном облучении.
  4. Влияние продуктов деления на структуру и свойства материалов ядерного топлива.
  5. Факторы, определяющие срок службы ядерного топлива в ядерном реакторе.
  6. Металлическое ядерное топливо, его достоинства и недостатки.
  7. Влияние фазовых превращений в металлическом ядерном топливе на условия его использования.
  8. Легирование металлического ядерного топлива.
  9. Оксиды урана, плутония и тория в качестве материалов ядерного топлива.
  10. Поведение оксидного ядерного топлива в процессе выгорания.
  11. Смешанное оксидное ядерное топливо.
  12. Перспективы использования диоксида плутония (тория) в качестве материала ядерного топлива.
  13. Свойства карбидов урана и плутония.
  14. Возможность использования карбидов урана и плутония в качестве материалов ядерного топлива.
  15. Основные способы обращения с облучённым металлическим (оксидным, карбидным, нитридным) ядерным топливом.
  16. Свойства нитридов урана и плутония.
  17. Преимущества и недостатки нитридного ядерного топлива.
  18. Совместимость материалов ядерного топлива с материалами оболочки тепловыделяющих элементов.
  19. Дисперсионное ядерное топливо, его основные преимущества.
  20. Способы получения оксидов (карбидов, нитридов) урана и плутония.
- LMS-платформа
1. не предусмотрено

#### **5.4 Содержание контрольно-оценочных мероприятий по направлениям воспитательной деятельности**

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.