

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**  
**образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный**  
**университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ  
протокол от "16" января 2024 г.  
№1

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической**  
**решетки, теории диффузии и фазовых превращений в**  
**твердых телах»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород  
2024 год

### **1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетки, теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» относится к числу факультативных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 4 семестре.

#### **Цель дисциплины –**

- готовность самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи, самостоятельно проводить фундаментальные и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния и в смежных областях.
- способность разрабатывать новые и использовать современные методы исследования сложных физических процессов и объектов (материалов), в том числе – использовать современные методы обработки экспериментальных данных и методы численного моделирования сложных физических процессов и объектов

#### **Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Выпускник, освоивший программу, должен

##### **Знать:**

- базовые подходы к проведению комплексных исследований и разработке междисциплинарных проектов с использованием опыта, описанного в литературе по истории и методологии науки;
- теоретические основы MSE;
- теоретические основы проектирования новых материалов;
- характерные особенности методов и границы применимости физики, химии и механики твердого тела;
- базовые подходы к решению актуальных практических задач, связанных с оптимизацией инженерных, технологических и эксплуатационных свойств материалов.

##### **Уметь:**

- выявлять алгоритмы и подходы к решению исследовательских задач на основе анализа работ, содержащих новые идеи и технические решения в междисциплинарной области MSE;- применять представления теории симметрии кристаллов и кристаллохимии
- применять теоретические знания в области физики металлов, сплавов и керамик и физики спекания для построения карт эксплуатационных, технологических и инженерных свойств материалов;
- применять знания в области интегрированного языка материаловедения для решения актуальных задач в сфере разработки и оптимизации материалов для различных видов промышленности;
- строить модели, позволяющие описывать изменение параметров инженерных, технологических и эксплуатационных свойств в процессе обработки и эксплуатации;
- выделять ключевые направления и задачи в области материаловедения для создания новых перспективных проектов, базирующихся на интегрированном языке материаловедения;

##### **Владеть:**

- навыками анализа и синтеза больших объемов плохоструктурированной информации, методами работ с базами данных и приемами формирования банков знаний в междисциплинарной области MSE;
- навыками управления исследовательскими проектами в междисциплинарной области MSE;

### **3. Структура и содержание дисциплины.**

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 18 часа, 18 часов – лабораторные работы), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2

Структура дисциплины

| Наименование раздела дисциплины  | Всего, часов | В том числе              |         |                    |              |       |    |
|--|--------------|--------------------------|---------|--------------------|--------------|-------|----|
|  |              | Контактная работа, часов |         |                    |              |       |    |
|  |              | Занятия лекционного типа | от ип а | лабораторного типа | Консультации | Всего |    |
| Становление современного материаловедения(МВ).Язык современного материаловедения               | 10           | 5                        |         |                    |              |       | 5  |
| Язык, границы применимости и проблемы физики твердого тела в МВ                                | 18           | 3                        |         | 6                  |              |       | 9  |
| Язык, границы применимости и проблемы химии твердого тела в МВ                                 | 20           | 4                        |         | 6                  |              |       | 10 |
| Язык, границы применимости и проблемы механики твердого тела в МВ                              | 6            | 3                        |         |                    |              |       | 3  |
| Подходы к описанию междисциплинарных проблем в МВ на стыке физики, механики и химии материалов | 18           | 3                        |         | 6                  |              |       | 9  |
| Промежуточная аттестация:  | Зачет        |                          |         |                    |              |       |    |
| Итого  | 72           | 18                       |         | 18                 |              |       | 36 |

Таблица 3

Содержание дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины  | Содержание раздела   | Форма проведения занятия | Форма текущего контроля* |
|-------|--|--|--------------------------|--------------------------|
|       | <b>Современные методы рентгеновской оптики</b>                                     |  |                          |                          |
| 1     | Становление современного материаловедения (МВ). Язык современного материаловедения | Предмет изучения и основные концепции современного материаловедения. Краткая история науки материаловедение. Обзор основных задач, решаемых с помощью методов MSE. Язык карт инженерных, технологических и эксплуатационных свойств. | Лекции                   | опрос                    |

|   |  |  |                              |       |
|---|--|--|------------------------------|-------|
| 2 | Язык, границы применимости и проблемы физики твердого тела в МВ                                | Базовые понятия и методы физики твердого тела, используемые в современном материаловедении. Место физики твердого тела в MSE. Проблемы применения языка и методов физики твердого тела при решении актуальных задач современного материаловедения.       | Лекции, практические занятия | опрос |
| 3 | Язык, границы применимости и проблемы химии твердого тела в МВ                                 | Базовые понятия и методы химии твердого тела, используемые в современном материаловедении. Место химии твердого тела в MSE. Проблемы применения языка и методов химии твердого тела при решении актуальных задач современного материаловедения.          | Лекции, практические занятия | Опрос |
| 4 | Язык, границы применимости и проблемы механики твердого тела в МВ                              | Базовые понятия и методы механики твердого тела, используемые в современном материаловедении. Место механики твердого тела в MSE. Проблемы применения языка и методов механики твердого тела при решении актуальных задач современного материаловедения. | Лекции                       | Отчет |
| 5 | Подходы к описанию междисциплинарных проблем в МВ на стыке физики, механики и химии материалов | Проблема языка современного материаловедения. Подходы к решению междисциплинарных проблем в MSE.   | Лекции, практические занятия | Опрос |

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

По итогам лекций и практических занятий аспиранты готовят рефераты (всего два), выполненных с использованием полученных знаний и навыков, тема которых связана непосредственно с проблемами современного материаловедения, кроме того тема должна быть связана с областью научных интересов аспиранта.

Реферат – письменная работа объемом 10-15 печатных страниц.

Примерная структура реферата:

1. Титульный лист.

2. На отдельной странице следует оглавление (план, содержание), в котором указаны названия всех разделов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие начало этих разделов в тексте реферата.
3. Введение объемом 1,5-2 страницы.
4. Основная часть реферата одна или несколько глав (подпунктов, разделов), структура которой зависит от обозначенной темы.
5. Заключение содержит главные выводы, отмечается, как выполнены задачи и достигнуты ли цели, сформулированные во введении.
6. Приложение может включать графики, таблицы, расчеты.
7. Библиография (список литературы). Список составляется согласно правилам библиографического описания.

Защита реферата сопровождается собеседованием по теме реферата. Примеры тем рефератов:

1. Карты инженерных свойств легких сплавов
2. Карты инженерных свойств жаропрочных металлов и сплавов
3. Карты инженерных свойств композитов с металлической матрицей
4. Карты инженерных свойств композитов с полимерной матрицей
5. Разработка карт инженерных свойств оксидных керамик
6. Карта деформации сплавов на основе неограниченных твердых растворов
7. Построение карты разрушения на основе карты деформации
8. Разработка карт механизмов усталости традиционных легких
9. Разработка карт механизмов усталости для мелкозернистых легких сплавов.
10. Разработка карт механизмов износа оксидных керамик

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение:

1. Пределы изменения значений параметров инженерных свойств для различных материалов
2. Физические и химические модели процессов, контролирующих технологические свойства металлических материалов (свойство по выбору).
3. Физические и химические модели процессов, контролирующих эксплуатационные свойства металлических материалов (свойство по выбору).

## **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

### *5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.*

При выполнении всех работ учитываются следующие основные критерии:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

*Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета*

| Оценка            | Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой  |
|-------------------|--|
| <i>Зачтено</i>    | владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |
| <i>Не зачтено</i> | непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.  |

*5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине*

1. Опишите «пирамиду» материаловедения. Дайте подробное описание ее элементов.
2. Перечислите основные инженерные свойства материалов. Как параметры этих свойств связаны со структурой и составом материалов?
3. Опишите влияние параметров макроформы на инженерные свойства изделия. Приведите примеры.
4. Опишите влияние параметров микроформы на инженерные свойства изделия. Приведите примеры.
5. Рассмотрите типичную карту инженерных свойств в осях модуль Юнга-плотность. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
6. Рассмотрите типичную карту инженерных свойств в осях трещиностойкость-плотность. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
7. Рассмотрите типичную карту инженерных свойств в осях теплопроводность-плотность. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
8. Опишите экспериментальный способ построения карт инженерных свойств в осях модуль Юнга-плотность.
9. Опишите экспериментальный способ построения карт инженерных свойств в осях трещиностойкость-плотность.
10. Опишите экспериментальный способ построения карт инженерных свойств в осях теплопроводность-плотность.
11. Опишите модели, с помощью которых можно было бы построить области карты или всю карту инженерных свойств в осях модуль Юнга-плотность.
12. Опишите модели, с помощью которых можно было бы построить области карты или всю карту инженерных свойств в осях трещиностойкость-плотность.
13. Опишите модели, с помощью которых можно было бы построить области карты или всю карту инженерных свойств в осях теплопроводность-плотность.
14. Рассмотрите типичную карту спекания. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.

15. Рассмотрите типичную карту деформации. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
16. Рассмотрите типичную карту сварки. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
17. Опишите экспериментальный способ построения карт спекания.
18. Опишите экспериментальный способ построения карт деформации.
19. Опишите экспериментальный способ построения карт сварки.
20. Опишите модели, с помощью которых можно было бы построить области карты или всю карту спекания.
21. Опишите модели, с помощью которых можно было бы построить области карты или всю карту деформации.
22. Опишите модели, с помощью которых можно было бы построить области карты или всю карту сварки.
23. Рассмотрите типичную карту износа. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
24. Рассмотрите типичную карту разрушения. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
25. Рассмотрите типичную карту усталости. Опишите характерные области, которые на ней выделяются и объясните причину возникновения этих областей. Укажите способ определения границ между этими областями.
26. На основе сбора и анализа экспериментальных данных постройте карту в осях теплоемкость-плотность.
27. На основе сбора и анализа экспериментальных данных постройте карту в осях предел текучести-плотность.
28. На основе сбора и анализа экспериментальных данных постройте карту в осях коэффициент теплового расширения-плотность.
29. Имея карту в осях теплопроводность-плотность и используя соответствующие физические модели, постройте карту в осях теплоемкость-плотность и сравните ее с экспериментальной.
30. Имея карту в осях модуль Юнга-плотность и используя соответствующие физические модели, постройте карту в осях модуль сдвига-плотность и сравните ее с экспериментальной.
31. Имея карту в осях модуль Юнга-плотность и используя соответствующие связь теоретической прочности с модулем Юнга, постройте карту в осях предел прочности-плотность, сравните ее с экспериментальной и объясните причину существенного несоответствия.
32. Используя данные Эшби, постройте карту механизмов деформации меди с размером зерна 100 мкм в осях напряжение-температура.
33. Перестройте карту механизмов деформации меди с размером зерна 100 мкм в осях напряжение-температура в осях скорость деформации-температура, получив в качестве изолинии напряжение.
34. Укажите, как изменится карта механизмов деформации меди с размером зерна 100 мкм в осях скорость деформации-температура (перестройте карту) при изменении размера зерна до 10 мкм.
35. Укажите, как изменится карта механизмов деформации меди в осях напряжение-температура с размером зерна 10 мкм (перестройте карту) при изменении начальной плотности дислокаций в 10 раз.

36. Укажите, как изменится карта механизмов деформации меди с размером зерна 100 мкм в осях напряжение-температура (перестройте карту) при добавлении в материал легирующих элементов, образующих твердый раствор замещения в концентрации до предела растворимости.
37. Укажите, как изменится карта механизмов деформации меди с размером зерна 100 мкм в осях напряжение-температура (перестройте карту) при добавлении в материал дисперсных частиц с характерным размером 1 мкм и объемной долей 1%.
38. Сравните карты механизмов деформации для ГЦК (Cu) и ОЦК (W) металлов с размером зерна 100 мкм.
39. Используя карты механизмов деформации и соответствующие модели, связывающие скорость деформации, время до разрушения и величину предела деформации, накопленной в материале, постройте карту механизмов разрушения в осях напряжение-температура с изолиниями времени до разрушения.
40. Укажите, как изменится карта механизмов разрушения в осях напряжение-температура материала с размером зерна 100 мкм (перестройте карту) при изменении размера зерна до 10 мкм.
41. Укажите, как изменится карта механизмов разрушения в осях напряжение-температура материала с размером зерна 100 мкм (перестройте карту) при добавлении в материал легирующих элементов, образующих твердый раствор замещения в концентрации до предела растворимости.
42. Укажите, как изменится карта механизмов разрушения в осях напряжение-температура материала с размером зерна 10 мкм (перестройте карту) при добавлении в материал дисперсных частиц с характерным размером 1 мкм и объемной долей 1%.
43. Укажите, как изменится карта механизмов разрушения в осях напряжение-температура материала с размером зерна 100 мкм (перестройте карту) при изменении начальной плотности дислокаций в 10 раз.
44. Сравните карты механизмов разрушения для ГЦК (Cu) и ОЦК (W) металлов с размером зерна 10 мкм.
45. На основе карт механизмов деформации и разрушения в осях скорость деформации-напряжение постройте карту механизмов износа в осях нагрузка-скорость движения контртела с изолиниями постоянной температуры.
46. На основе карт механизмов деформации и моделей, связывающих накопленную деформацию и предел деформации, постройте карту механизмов усталости и сравните с экспериментальной. Объясните несоответствие.
47. Укажите, как изменится карта механизмов усталости материала с размером зерна 100 мкм (перестройте карту) при добавлении в материал легирующих элементов, образующих твердый раствор замещения в концентрации до предела растворимости.
48. Укажите, как изменится карта механизмов усталости материала с размером зерна 100 мкм (перестройте карту) при изменении размера зерна до 10 мкм.
49. Укажите, как изменится карта механизмов усталости материала с размером зерна 10 мкм (перестройте карту) при добавлении в материал дисперсных частиц с характерным размером 1 мкм и объемной долей 1%.
50. Сравните карты механизмов усталости для ГЦК (Cu) и ОЦК (W) металлов с размером зерна 10 мкм.

#### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

а) основная литература:

1. Г. Дж. Фрост, М.Ф. Эшби Карты механизмов деформации. Челябинск: Metallurgy, 1989. 328 с.  
[http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/deformation\\_mechanism\\_maps.djvu](http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/deformation_mechanism_maps.djvu)
2. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб и доп. / Том 1. Атомное строение металлов и сплавов. – М.: Metallurgy, 1987. 638 с. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].



3. P.W.R. Beaumont, H.Sekine. Physical Modelling of Engineering Problems of Composites and Structures / Applied Composite Materials. – 2000. – Vol. 7, №1. – P.13-37. <http://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1008925315042>
4. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб. и доп. / Т. 2: Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами. – М.: Металлургия, 1987. 621 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб. и доп. / Т. 3: Физико-механические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1987. 661 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
6. Чувильдеев В.Н. Неравновесные границы зерен в металлах. Теория и приложения – М.: Физматлит, 2004, 303 с. [доступно авторизованным пользователям через ЭБС «ЛАНЬ»: [https://e.lanbook.com/book/59342?category\\_pk=925#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/59342?category_pk=925#book_name)]. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
7. Готтштайн Г. Физико-химические основы современного материаловедения – М.: БИНОМ, 2014, 403 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «Znaniy.com»]: <http://znaniy.com/bookread2.php?book=539831>].
8. G. Castillo, H. Wagnier, M. Danis, Y. Brechet. Determination of Materials Selection Performance Indices Through the Combination of Numerical Modeling and Optimization Methods / Advanced Engineering Materials. – 2009. – Vol. 11, № 11. – P. 938–944. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adem.200900159/pdf>

б) дополнительная литература:

1. A.M.K. Esawi, M.F. Ashby. Computer-based selection of joining processes. Methods, software and case studies / Materials and Design. – 2004. – Vol. 25. – P. 555–564. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306904000585>
2. A.M.K. Esawi, M.F. Ashby. Cost estimates to guide pre-selection of processes / Materials & Design. – 2003. – Vol. 24, № 8. – P. 605–616. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306903001365>
3. M.F. Ashby, Y.J.M. Bréchet, D. Cebon, L. Salvo. Selection strategies for materials and processes / Materials & Design. – 2004. – Vol. 25, №1. – P. 51–67. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306903001596>
4. E.M.A. Maine, M.F. Ashby. An investment methodology for materials / Materials & Design. – 2002. – Vol. 23, № 3. – P. 297–306. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306901000553>
5. K.W Johnson, P.M Langdon, M.F Ashby. Grouping materials and processes for the designer: an application of cluster analysis / Materials & Design. – 2002. – Vol. 23, № 1. – P. 1–10. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306901000358>
6. M.F. Ashby, Y.J.M. Bréchet. Designing hybrid materials, / Acta Materialia. – 2003. – Vol. 51, № 19. – P. 5801–5821. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645403004415>
7. P.W.R. Beaumont, H.Sekine. Physical Modelling of Engineering Problems of Composites and Structures / Applied Composite Materials. – 2000. – Vol. 7, №1. – P.13-37. <http://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1008925315042>
8. T.G. Langdon, F.A. Mohamed. A simple method of constructing an Ashby-type deformation mechanism map / Journal of Materials Science. – 1978. – Vol.13, №6. – P. 1282–1290. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00544735>
9. T. C. Chang, C. H. Popelar, G. H. Staab. A damage model for creep crack growth / International Journal of Fracture. – 1986. – Vol.32, №3. – P. 157–168. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00018350>

10. S. B. Bhaduri. Science and technology of ceramic foams / Advanced Performance Materials. – 1994. – Vol. 1, № 3. – P. 205– 220. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00711203>
11. C. Könke. Damage evolution in ductile materials: from micro- to macro-damage / Computational Mechanics. – 1995. – Vol. 15, № 6. – P. 497–510. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00350263>
12. G. Castillo, H. Wagnier, M. Danis, Y. Brechet. Determination of Materials Selection Performance Indices Through the Combination of Numerical Modeling and Optimization Methods / Advanced Engineering Materials. – 2009. – Vol. 11, № 11. – P. 938–944. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adem.200900159/pdf>
13. P. Sirisalee, M. F. Ashby, G. T. Parks, P. J. Clarkson. Multi-Criteria Material Selection of Monolithic and Multi-Materials in Engineering Design / Advanced Engineering Materials. – 2006. – Vol.8, № 1-2. – P. 48–56. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adem.200500196/pdf>

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
4. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
5. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.

#### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Авторы: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н., д.ф.-м.н. Нохрин А.В.

Рецензент(ы): к.ф. -м.н., зам. декана физического факультета Зайцева Е.В.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от  
\_\_\_\_\_2022 года, протокол № б/н