

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Оценочные материалы по дисциплине

**Физика прочности и экспериментальная механика**

по направлению подготовки / специальности

**15.03.06 Мехатроника и робототехника**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:  
**Промышленная и специальная робототехника**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Е.И. Борзенко

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и общеинженерных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

ПК-1 Способность составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

РООПК-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные компьютерных технологий для их решения

РООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

РОПК 1.1 Знает основные законы, описывающие функционирование проектируемых объектов.

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- Тест (РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК 1.1):

1. Для кристаллических структур P, Cu, W, Hg,  $\alpha$ -Ti, Al, Si, NaCl, CuAu, AsGa, сфалерита (ZnS), пирита (FeS 2) записать ответы на вопросы:

- Зарисовать элементарную ячейку и определить ее сингонию.
- Определить число материальных частиц в элементарной ячейке.
- Охарактеризовать тип элементарной ячейки Браве.
- Определить координационное число.

2. Найти индексы плоскости, отсекающей по координатным осям заданные отрезки  $-1/2$ ;  $\infty$ ;  $1/2$ . Построить положение плоскости в кубической ячейке.

3. Построить плоскость с заданными индексами (112) в кубической ячейке.

4. Построить направление с заданными индексами [112] в кубической ячейке.

5. Вычислить значение энергии кристаллической решетки NaCl, если постоянная, характеризующая потенциал сил отталкивания,  $n = 9,4$ ; постоянная Маделунга – 1,75. Постоянную решетки NaCl принять равной 2,81 Å.

6. Найти сжимаемость кристалла NaCl при 0 К, считая, что показатель экспоненты, определяющий величину сил отталкивания,  $m = 9,4$ . Постоянная Маделунга для NaCl равна 1,75.
7. Определить величину квазиимпульса фонона соответствующего частоте  $\omega = 0,4 \cdot \omega_{\max}$ . Усредненное значение скорости звука в кристалле  $\langle v \rangle = 2000$  м/с, характеристическая температура Дебая  $\theta_D = 150$  К. Дисперсией звуковых волн в кристалле пренебречь.
8. Определить скорость звука в кристалле поваренной соли, зная, что температура Дебая равна 1670 К и  $a = 1,04$  Å.
9. Какова максимальная энергия фононов в кристалле свинца, если его характеристическая температура равна 94 К?
10. Удельная теплоемкость алюминия при 20 °С равна 896 Дж/(кг·К). Выполняется ли при этой температуре для него закон Дюлонга и Пти?
11. Показать, что при низких температурах коэффициенты термического расширения кристаллов стремятся к нулю.
12. Определить максимальную частоту собственных колебаний в кристалле золота по теории Дебая. Характеристическая температура золота  $\theta_D = 180$  К.
13. Концентрация свободных электронов натрия  $2,5 \cdot 10^{28}$  м<sup>-3</sup>. Определить температуру Ферми и скорость электронов на уровне Ферми.
14. Исходя из классической теории электропроводности металлов, определить среднюю кинетическую энергию электронов в металле, если отношение удельной теплопроводности  $\lambda$  к удельной проводимости  $\sigma$  равно  $\lambda/\sigma = 6,7 \cdot 10^{-6}$  Вт<sup>2</sup>/К.

Критерии оценивания: тест считается пройденным, если обучающий ответил правильно как минимум на половину вопросов.

- Рефераты (РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК 1.1):

1. Напряжения и деформации. Виды напряженного состояния
2. Режимы механических испытаний. Активное нагружение, ползучесть, усталость и релаксация напряжений
4. Измерения микротвердости и нанотвердости
5. Микроскопические исследования деформированных и разрушенных материалов
6. Методы исследования быстропротекающих процессов деформации и разрушения
7. Подготовка монокристаллических образцов для исследования деформации
8. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений
9. Голографическая интерферометрия
10. Спекл-интерферометрия
11. Акустические методы исследования деформаций
12. Элементы линейной механики разрушения
13. Карты пластической деформации
14. Стадийность процесса ползучести
15. Механизмы ползучести при низких температурах
16. Высокотемпературная ползучесть

17. Диффузионная ползучесть
18. Неупругая ползучесть
19. Разрушение при ползучести
20. Режимы усталостных испытаний
21. Мало- и многоцикловая усталость
22. Кривая Велера. Предел усталости (выносливости)
23. Характер разрушения при усталости
24. Влияние внешних факторов на усталость
25. О диагностике усталостного разрушения

Реферат считается принятым, если обучающий отразил в тексте следующие аспекты:

- 1) Глубина и комплексность исследования, полнота освещения излагаемых вопросов;
- 2) Четкость построения, логическая последовательность изложения материала;
- 3) Убедительность аргументации, полнота, краткость и точность формулировок;
- 4) Тщательность, грамотность оформления текстовой и графической части работы;
- 5) Конкретность изложения, доказательность выводов.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

**Зачет в семестре** проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса (проверяющих сформированность РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК 1.1). Продолжительность зачета 1 час.

Ответы на вопросы даются в развернутой форме.

Примеры билетов:

Билет No. 1.

1. Природа ионной связи.
2. Типы дислокаций в кристаллах.

Билет No. 2.

1. Теплопроводность твердых тел.
2. Точечные дефекты в кристаллах.

Билет No. 3.

1. Фононы в твердых телах.
2. Сила, действующая на дислокацию

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. В чем сущность кристаллического строения металлов?
2. Что такое монокристалл и поликристалл?
3. Дайте определение сингонии.
4. Как обозначаются кристаллографические направления и плоскости в кубической сингонии?
5. Что называется энергией связи кристалла?
6. Какова классификация кристаллов по типу связи?
7. Что такое константа Маделунга?
8. Что такое теплоемкость?
9. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье.
10. Что такое тепловое расширение?
11. Какова температурная зависимость молярной теплоемкости?
12. Сформулируйте основные предположения теории теплоемкости Дебая.
13. Что такое фонон?
14. Что такое энергия Ферми?
15. Каково влияние температуры на распределение Ферми-Дирака?

16. Оцените температуру, при которой теплоемкость решетки в металле сравнивается с электронной теплоемкостью.
17. В чем причина различия коэффициентов теплопроводности металлов и диэлектриков?
18. Дайте определение энергетической щели.
19. В чем отличие между диэлектриками и металлами в зонной теории?
20. Что представляет собой поверхность Ферми?
21. Что такое сверхпроводимость?
22. Объясните смысл понятия «диффузионная пара».
23. Запишите 2-е уравнение Фика.
24. Что такое вакансия?
25. Что называется самодиффузией?
26. Что такое энергия активации диффузии
27. В чем заключается эффект Сорé?
28. Что называется дефектом в кристалле?
29. Дайте определение точечного дефекта.
30. Что называется двумерным дефектом?
31. Что называется дефектом Шоттки?

Допуск к зачету дается по результатам текущего контроля успеваемости. Необходимо 100% посещаемость занятий и выполнение тестовых заданий и реферата (проверяющих сформированность РООПК-1.1, РООПК-1.2, РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК 1.1). Отработка пропусков – решение домашних задач, заданных на пропущенном занятии.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено». Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении заданий.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на этапе промежуточной аттестации, описание шкал оценивания:

| Результат обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Форма контроля | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                | Не зачтено                                                                                                                                                                                                                                                                             | Зачтено                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- понятия о кристаллической структуре и дефектах кристаллического строения, их взаимодействии и роли в развитии процессов формоизменения.</li> <li>– механизмы деформационного и примесного упрочнения материалов и механизмы диффузии в твердых телах.</li> <li>- процессы, протекающие в твердых телах при внешних воздействиях механической, термической</li> </ul> | Зачет          | <p>Не выполнены задания, предусмотренные учебным планом. Обнаружено незнание основных сведений о кристаллической структуре и дефектах кристаллического строения, их взаимодействии</p> <p>Обнаружено неумение: определять основные типы кристаллической решетки.</p> <p>Обнаружено</p> | <p>Выполнены все задания, предусмотренные учебным планом. Продemonстрировано знание типов кристаллических решеток и дефектов кристаллического строения. Продemonстрированы способности применения теории деформационного упрочнения. Продemonстрировано умение анализировать изученный материал, однако не все выводы носят аргументированный и</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>и электрической природы.<br/>- свойства реальных твердых тел и типы структурных дефектов в процессах деформирования и разрушения.</p> <p>Уметь:<br/>- подбирать материалы на основе анализа их свойств и структуры для решения практических профессиональной деятельности.<br/>- интерпретировать данные эксперимента в области физики прочности и экспериментальной механики<br/>- выявлять природу показателей прочности и пластичности и их связь со структурой реальных твердых тел.</p> |  | <p>отсутствие знаний о механизмах деформационного и примесного упрочнения материалов. Не раскрыто основное содержание учебного материала; обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала; допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов.</p> | <p>доказательный характер; в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа; допущены один – два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию преподавателя; допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию преподавателя.</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Теоретические вопросы:

1. Что такое элементарная ячейка?
2. Какие типы кристаллических решеток вам известны?
3. Что такое аллотропия металлов?
4. Как обозначаются кристаллографические направления и плоскости в гексагональной сингонии?
5. Запишите выражение для потенциала межатомных взаимодействий.
6. Перечислите постулаты М. Борна для ионной связи.
7. Каков физический смысл модуля продольной упругости?
8. Дайте определение теплопроводности твердых тел.
9. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности?
10. Сформулируйте закон Дюлонга и Пти.
11. В чем недостаток модели А. Эйнштейна в теории теплоемкости?
12. Что такое дебаевская частота?
13. Какие квазичастицы вам известны в физике твердого тела?
14. Какая статистика пригодна для описания электронного газа?
15. Почему электроны при комнатной температуре не вносят существенного вклада в теплоемкость металла?
16. Запишите выражение для полной теплоемкости металла.
17. Чем определяется теплопроводность диэлектриков?
18. Что такое энергетические зоны?

19. Какова зонная структура полупроводников?
20. Что такое диффузия?
21. Запишите 1-е уравнение Фика.
22. Каким образом можно оценить коэффициент диффузии?
23. Какие механизмы диффузии в твердых телах вам известны?
24. Запишите формулу для вычисления концентрации вакансий.
25. Что называется восходящей диффузией?
26. Какие виды дефектов кристаллической решетки вам известны?
27. Что такое одномерный дефект?
28. Дайте определение трехмерного дефекта.
29. Что такое дефект Френкеля?

Критерии оценивания: правильные, развернутые ответы или содержащие незначительные фактические ошибки на любые два теоретических вопроса из списка.

### **Информация о разработчиках**

Баранникова Светлана Александровна, доктор физико-математических наук, профессор, НИ ТГУ, кафедра механики деформируемого твердого тела, профессор