

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта



УТВЕРЖДАЮ:
Директор института

А.И. Елкин

2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ»

направление подготовки / специальность
28.03.02 «Наноинженерия»

направленность (профиль) подготовки
Инженерные нанотехнологии в машиностроении

г. Владимир

Год 2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины «Материаловедение наноматериалов и наносистем» – изучение основных специальных, а также физических и механических свойств наноматериалов и наносистем, а также технологий их получения. Обучение студентов научным основам выбора наноматериала для решения специальных технических задач.

Задачи:

- изучить основные виды наноматериалов и нанопокровтий;
- изучить современные технологии, а также устройства и приспособления для получения наноматериалов и нанопокровтий;
- познакомиться с физическими и физико-химическими основами технологий получения наноматериалов и наносистем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Материаловедение наноматериалов и наносистем» относится к дисциплинам обязательной части ОПОП ВО.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства |
|---|---|---|--|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | |
| ОПК-1. Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования | ОПК-1.1. Знает физические, естественно-научные и общинженерные законы и принципы в своей профессиональной деятельности.н | Знает физические, естественно-научные и общинженерные законы и принципы в своей профессиональной деятельности.н | Тестовые и контрольные вопросы, результаты выполнения практических заданий |
| | ОПК-1.2. Умеет использовать основные экспериментальные методы определения физико-химических свойств материалов и изделий из них, а также прикладные программы и средства автоматизированного проектирования при решении инженерных задач. | Умеет использовать основные экспериментальные методы определения физикохимических свойств материалов и изделий из них, а также прикладные программы и средства автоматизированного проектирования при решении инженерных задач. | |
| | ОПК-1.3. Владеет навыками использования математического аппарата для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических | Владеет навыками использования математического аппарата для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических | |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности. | систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности. | |
| ОПК-3. Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные | ОПК-3.1. Знает основные методы проведения измерений, обработки и представления экспериментальных данных. | Знает основные методы проведения измерений, обработки и представления экспериментальных данных. | |
| | ОПК-3.2. Умеет составлять отчёты по учебно-исследовательской деятельности, включая анализ экспериментальных результатов, сопоставления их с известными аналогами. | Умеет составлять отчёты по учебно-исследовательской деятельности, включая анализ экспериментальных результатов, сопоставления их с известными аналогами. | |
| | ОПК-3.3. Владеет навыками формирования демонстрационного материала и представления результатов своей исследовательской деятельности на научных конференциях, во время промежуточных и итоговых аттестаций. | Владеет навыками формирования демонстрационного материала и представления результатов своей исследовательской деятельности на научных конференциях, во время промежуточных и итоговых аттестаций. | |
| ПК-1. Способен использовать методики комплексного анализа структуры и свойств наноструктур и наноматериалов для испытаний инновационной продукции наноиндустрии | ПК-1.1. Знает типовые методики комплексного анализа структуры и свойств наноструктурированных материалов. | Знает типовые методики комплексного анализа структуры и свойств наноструктурированных материалов. | |
| | ПК-1.2. Умеет проводить исследования структуры и свойств наноматериалов и изделий из них в соответствии с технической и эксплуатационной документацией. | Умеет проводить исследования структуры и свойств наноматериалов и изделий из них в соответствии с технической и эксплуатационной документацией. | |
| | ПК-1.3. Владеет навыками комплексного анализа структуры и свойств наноструктурированных материалов для испытаний инновационной продукции наноиндустрии. | Владеет навыками комплексного анализа структуры и свойств наноструктурированных материалов для испытаний инновационной продукции наноиндустрии. | |

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Тематический план форма обучения – очная

| № п/п | Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Контактная работа обучающихся с педагогическим работником | | | Самостоятельная работа | в форме практической подготовки | Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|--------------|--|----------|-----------------|---|----------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------|---|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | | | |
| 1 | Раздел 1 | 3 | 1-3 | 2 | 2 | - | - | - | - |
| 2 | Раздел 2 | 3 | 4-5 | 2 | 2 | - | 15 | - | Рейтинг-контроль 1 |
| 3 | Раздел 3 | 3 | 6-7 | 2 | 2 | - | - | - | - |
| 4 | Раздел 4 | 3 | 8-9 | 2 | 2 | - | 15 | 2 | Рейтинг-контроль 2 |
| 5 | Раздел 5 | 3 | 10-11 | 2 | 2 | - | - | - | - |
| 6 | Раздел 6 | 3 | 12-13 | 2 | 2 | - | 15 | 2 | Рейтинг-контроль 3 |
| Всего | | 3 | 1-18 | 18 | 18 | - | 45 | 4 | Экзамен |

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение. Классификация дисперсных частиц.

Тема 1.1. Классификация дисперсных частиц по агрегатному состоянию.

Тема 1.2. Классификация дисперсных частиц по размерам.

Тема 1.3. Классификация дисперсных частиц по мерности.

Раздел 2. Способы получения наноразмерных материалов.

Тема 2.1. Методы механического диспергирования.

Тема 2.2. Методы физического диспергирования.

Тема 2.3. Методы химического диспергирования.

Тема 2.4. Биологические подходы к получению наноразмерных материалов.

Тема 2.5. Способы консолидации наноразмерных порошков.

Раздел 3. Физико-химические основы получения наноструктурных материалов.

Тема 3.1. Формирование наноматериалов по механизму «снизу-вверх»

Тема 3.2. Формирование наноматериалов по механизму «сверху-вниз».

Раздел 4. Размерные зависимости свойств наноматериалов.

Тема 4.1. Особенности термодинамических свойств наносред.

- Тема 4.2. Структура наноразмерных материалов.
- Тема 4.3. Характеристики дисперсности наноматериалов.
- Тема 4.4. Поверхность, границы, морфология наноматериалов.
- Тема 4.5. Электрические свойства наноматериалов.
- Тема 4.6. Ферромагнитные характеристики наноматериалов.
- Тема 4.7. Особенности тепловых свойств наноматериалов.
- Тема 4.8. Оптические характеристики наносред.
- Тема 4.9. Диффузия в наноматериалах.
- Тема 4.10. Химические свойства наноматериалов.
- Тема 4.11. Механические характеристики дисперсных сред.

Раздел 5. Методы изучения свойств наноматериалов.

- Тема 5.1. Исследование размерных характеристик.
- Тема 5.2. Определение элементного состава.
- Тема 5.3. Определение фазового состава.
- Тема 5.4. Методы изучения поверхности.

Раздел 6. Использование наноматериалов в практической деятельности.

- Тема 6.1. Применение наноматериалов в промышленности.
- Тема 6.2. Использование наноматериалов в биологии и медицине.

Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 2. Способы получения наноразмерных материалов.

- Тема 2.1. Методы механического диспергирования.

Содержание практических занятий.

Изучение методов механического диспергирования материалов

- Тема 2.2. Методы физического диспергирования.

Содержание практических занятий.

Изучение методов физического диспергирования материалов

- Тема 2.3. Методы химического диспергирования.

Содержание практических занятий.

Изучение методов химического диспергирования материалов

- Тема 2.4. Биологические подходы к получению наноразмерных материалов.

Содержание практических занятий.

Изучение биологических методов получения наночастиц.

- Тема 2.5. Способы консолидации наноразмерных порошков.

Содержание практических занятий.

Изучение способов получения макроизделий из наноматериалов.

Раздел 5. Методы изучения свойств наноматериалов.

- Тема 5.1. Исследование размерных характеристик.

Содержание практических занятий.

Изучение методов исследования свойств наноматериалов.

- Тема 5.2. Определение элементного состава.

Содержание практических занятий.

Изучение методов исследования свойств наноматериалов.

- Тема 5.3. Определение фазового состава.

Содержание практических занятий.

Изучение методов определения фазового состава сплавов.

Тема 5.4. Методы изучения поверхности.

Содержание практических занятий.

Изучение методов исследования поверхности изделий из наноматериалов.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Вопросы к рейтинг-контролю 1

1. Наноматериалы. Нанотехнологии. Задачи нанотехнологий.
2. Особенности наноматериалов.
3. Основные причины интереса к наноматериалам.
4. Классификация веществ и материалов по размеру частиц.
5. Классификация наноматериалов в зависимости от характерного размера.
6. Классификация материалов по структурным признакам.
7. Наночастицы: Нанокластеры. Нанокристаллы. Фуллерены. Нанотрубки. Супермолекулы. Биомолекулы. Мицеллы. Липосомы.
8. Консолидированные наноматериалы: Нанокристаллические материалы. Фуллериты. Фотонные кристаллы. Слоистые нанокompозиты. Матричные нанокompозиты. Нанопористые материалы. Наноаэрогели.
9. Нанодисперсии: Нанопорошки. Наносuspензии. Наноэмульсии. Наноаэрозоли.
10. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию.
11. Золи. Аэрозоли. Гели. Порошки.
12. Частица. Агломерат. Агрегат.
13. Классификация дисперсных систем по размерам.
14. Классификация наноматериалов по геометрической форме и размерности структурных элементов.
15. Классификация дисперсных систем по мерности.

Вопросы к рейтинг-контролю 2

1. Основные требования к методам получения наноматериалов.
2. Классификация нанотехнологий.
3. Способы получения наноразмерных материалов (общая классификация).
4. Основные требования к методам получения наноматериалов.
5. Методы механического диспергирования. Получение наноматериалов механическим измельчением. Преимущества и недостатки метода.
6. Методы механического диспергирования. Методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Преимущества и недостатки методов.
7. Методы механического диспергирования. Получение наноматериалов механическим воздействием различных сред. Преимущества и недостатки методов. Кавитационно-гидродинамический метод. Измельчение ультразвуком.
8. Методы механического диспергирования. Получение наноматериалов механическим воздействием различных сред. Преимущества и недостатки методов. Вибрационный метод. Ударно-волновая обработка. Детонационный синтез.
9. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов распылением расплавов. Преимущества и недостатки методов.

10. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов методом испарения-конденсации. Преимущества и недостатки методов.
11. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов по вакуум-сублимационной технологии. Преимущества и недостатки методов.
12. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов с использованием твердофазных превращений. Преимущества и недостатки методов.

Вопросы к рейтинг-контролю 3

1. Получение наноматериалов с использованием химических реакций – методы осаждения и соосаждения, преимущества и недостатки.
2. Получение наноматериалов с использованием химических реакций – метод восстановления, преимущества и недостатки.
3. Получение наноматериалов с использованием химических реакций – метод газофазных химических реакций, преимущества и недостатки.
4. Получение наноматериалов электрохимическими методами, преимущества и недостатки.
5. Получение наноматериалов путем сочетания химических и физических превращений.
6. Биологические подходы к получению наноразмерных материалов
7. Способы консолидации наноразмерных порошков -прессование.
8. Способы консолидации наноразмерных порошков — спекание.
9. Способы консолидации наноразмерных порошков -прокатка.
10. Способы консолидации наноразмерных порошков — экструзия.
11. Основные типы структур наноматериалов.
12. Размерная зависимость свойств наноматериалов - Фазовые превращения.
13. Размерная зависимость свойств наноматериалов – Кинетические свойства.
14. Размерная зависимость свойств наноматериалов – Электрические свойства.
15. Размерная зависимость свойств наноматериалов - Магнитные свойства.
16. Размерная зависимость свойств наноматериалов - Механические свойства.
17. Роль дефектов, возникающих в НМ вследствие особенностей методов их получения.
18. Применение наноразмерных материалов - Металлические наноматериалы.
19. Применение наноразмерных материалов - Композиционные материалы с наноразмерными частицами и отдельными слоями.
20. Применение наноразмерных материалов - Керамические материалы в наноструктурном состоянии.
21. Применение наноразмерных материалов - Производственные технологии.
22. Применение наноразмерных материалов - Создание защитных, декоративных и износостойких покрытий.
23. Применение наноразмерных материалов - Электронная и электро-магнитная техника.
24. Применение наноразмерных материалов - Использование наноматериалов в биологии и медицине.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины - экзамен.

Контрольные вопросы к экзамену

1. Наноматериалы. Нанотехнологии. Задачи нанотехнологий.
2. Особенности наноматериалов.
3. Основные причины интереса к наноматериалам.
4. Классификация веществ и материалов по размеру частиц.
5. Классификация наноматериалов в зависимости от характерного размера.

6. Классификация материалов по структурным признакам.
7. Наночастицы: Нанокластеры. Нанокристаллы. Фуллерены. Нанотрубки. Супермолекулы. Биомолекулы. Мицеллы. Липосомы.
8. Консолидированные наноматериалы: Нанокристаллические материалы. Фуллериты. Фотонные кристаллы. Слоистые нанокompозиты. Матричные нанокompозиты. Нанопористые материалы. Наноаэрогели.
9. Нанодисперсии: Нанопорошки. Наносуспензии. Наноэмульсии. Наноаэрозоли.
10. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию.
11. Золи. Аэрозоли. Гели. Порошки.
12. Частица. Агломерат. Агрегат.
13. Классификация дисперсных систем по размерам.
14. Классификация наноматериалов по геометрической форме и размерности структурных элементов.
15. Классификация дисперсных систем по мерности.
16. Основные требования к методам получения наноматериалов.
17. Классификация нанотехнологий.
18. Способы получения наноразмерных материалов (общая классификация).
19. Основные требования к методам получения наноматериалов.
20. Методы механического диспергирования. Получение наноматериалов механическим измельчением. Преимущества и недостатки метода.
21. Методы механического диспергирования. Методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Преимущества и недостатки методов.
22. Методы механического диспергирования. Получение наноматериалов механическим воздействием различных сред. Преимущества и недостатки методов. Кавитационно-гидродинамический метод. Измельчение ультразвуком.
23. Методы механического диспергирования. Получение наноматериалов механическим воздействием различных сред. Преимущества и недостатки методов. Вибрационный метод. Ударно-волновая обработка. Детонационный синтез.
24. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов распылением расплавов. Преимущества и недостатки методов.
25. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов методом испарения-конденсации. Преимущества и недостатки методов.
26. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов по вакуум-сублимационной технологии. Преимущества и недостатки методов.
27. Методы физического диспергирования. Получение наноматериалов с использованием твердофазных превращений. Преимущества и недостатки методов.
28. Получение наноматериалов с использованием химических реакций – методы осаждения и соосаждения, преимущества и недостатки.
29. Получение наноматериалов с использованием химических реакций – метод восстановления, преимущества и недостатки.
30. Получение наноматериалов с использованием химических реакций – метод газофазных химических реакций, преимущества и недостатки.
31. Получение наноматериалов электрохимическими методами, преимущества и недостатки.
32. Получение наноматериалов путем сочетания химических и физических превращений.
33. Биологические подходы к получению наноразмерных материалов
34. Способы консолидации наноразмерных порошков -прессование.
35. Способы консолидации наноразмерных порошков - спекание.
36. Способы консолидации наноразмерных порошков -прокатка.
37. Способы консолидации наноразмерных порошков -экструзия.

38. Основные типы структур наноматериалов.
39. Размерная зависимость свойств наноматериалов - Фазовые превращения.
40. Размерная зависимость свойств наноматериалов – Кинетические свойства.
41. Размерная зависимость свойств наноматериалов – Электрические свойства.
42. Размерная зависимость свойств наноматериалов - Магнитные свойства.
43. Размерная зависимость свойств наноматериалов - Механические свойства.
44. Роль дефектов, возникающих в НМ вследствие особенностей методов их получения.
45. Применение наноразмерных материалов - Металлические наноматериалы.
46. Применение наноразмерных материалов - Композиционные материалы с наноразмерными частицами и отдельными слоями.
47. Применение наноразмерных материалов - Керамические материалы в наноструктурном состоянии.
48. Применение наноразмерных материалов - Производственные технологии.
49. Применение наноразмерных материалов - Создание защитных, декоративных и износостойких покрытий.
50. Применение наноразмерных материалов - Электронная и электро-магнитная техника.
51. Применение наноразмерных материалов - Использование наноматериалов в биологии и медицине.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Самостоятельная работа включает в себя следующие виды работы студентов: работа с лекционным материалом, подготовка к лабораторным работам, подготовка к экзамену, подготовка рефератов и презентаций.

Тематика самостоятельной реферативной работы студентов

Раздел 2. Способы получения наноразмерных материалов.

- Тема 2.1. Методы механического диспергирования.
- Тема 2.2. Методы физического диспергирования.
- Тема 2.3. Методы химического диспергирования.
- Тема 2.4. Биологические подходы к получению наноразмерных материалов.
- Тема 2.5. Способы консолидации наноразмерных порошков.

Раздел 3. Физико-химические основы получения наноструктурных материалов.

- Тема 3.1. Формирование наноматериалов по механизму «снизу-вверх»
- Тема 3.2. Формирование наноматериалов по механизму «сверху-вниз».

Раздел 4. Размерные зависимости свойств наноматериалов.

- Тема 4.1. Особенности термодинамических свойств наносред.
- Тема 4.2. Структура наноразмерных материалов.
- Тема 4.3. Характеристики дисперсности наноматериалов.
- Тема 4.4. Поверхность, границы, морфология наноматериалов.
- Тема 4.5. Электрические свойства наноматериалов.
- Тема 4.6. Ферромагнитные характеристики наноматериалов.
- Тема 4.7. Особенности тепловых свойств наноматериалов.
- Тема 4.8. Оптические характеристики наносред.
- Тема 4.9. Диффузия в наноматериалах.
- Тема 4.10. Химические свойства наноматериалов.
- Тема 4.11. Механические характеристики дисперсных сред.

Раздел 6. Использование наноматериалов в практической деятельности.

Тема 6.1. Применение наноматериалов в промышленности.

Тема 6.2. Использование наноматериалов в биологии и медицине.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

| Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство | Год издания | КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ | |
|---|-------------|---|---|
| | | Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО | Наличие в электронной библиотеке ВлГУ |
| Основная литература* | | | |
| 1. Рыжонков Д.И. Наноматериалы: учебное пособие/ Рыжонков Д.И., Лёвина В.В., Дзидзигури Э.Л.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.— 366 с. | 2014 | | http://www.iprbookshop.ru/4593 . |
| 2. Витязь П.А. Наноматериаловедение: учебное пособие/ Витязь П.А., Свидунович Н.А., Куис Д.В.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2015.— 512 с. | 2015 | | http://www.iprbookshop.ru/35501 . |
| 3. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы / Андриевский Р.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.— 253 с | 2014 | | http://www.iprbookshop.ru/4575 . |
| Дополнительная литература | | | |
| 1. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий: монография/ П.А. Витязь [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Минск: Белорусская наука, 2011.— 283 с. | 2011 | | http://www.iprbookshop.ru/12322 . |
| 2. Рудской А.И. Наноструктурированные металлические материалы/ Рудской А.И.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт- | 2011 | | http://www.iprbookshop.ru/43958 . |

| | | | |
|---|------|--|---|
| университет Петра Великого, Наука, 2011.— 270 с. | | | |
| З.Головин Ю.И., Основы нанотехнологий/ Головин Ю.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Машиностроение, 2012.— 656 с. | 2012 | | http://www.iprbookshop.ru/18532 |

6.2. Периодические издания

Журналы «Вопросы материаловедения», «Материаловедение».

6.3. Интернет-ресурсы

www.materialscience.ru,

<http://xn--80aagiccszezsw.xn--plai/>

<https://www.crys.ras.ru/>

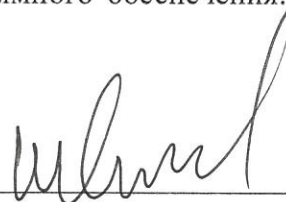
7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Практические/лабораторные работы проводятся в специализированных аудиториях.

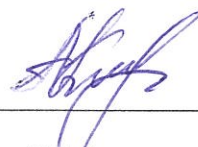
Лекционные аудитории оборудованы проекторами. Ноутбук.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MS Windows, MS PowerPoint.

Рабочую программу составил
доцент кафедры ТФ и КМ, к.т.н. В.Н.Шаршин



Рецензент
Заместитель генерального директора по производству
ООО «НПО «ИнЛитТех»



А.А. Крещик

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТМС
Протокол № 1 от 30 августа 2021 года

Заведующий кафедрой ТМС  В.В.Морозов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании учебно-методической комиссии направления 28.03.02 «Наноинженерия»
Протокол № 1 от 30 августа 2021 года

Председатель комиссии  В.В.Морозов