

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ И**  
**ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ**

|  |  |
|--|--|
| <b>Блок:</b>                             | Блок 1 «Дисциплины (модули)»                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | Б4.Ч.01  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b> | 3 семестр - 3;   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | 108 часов  |
| <b>Лекции</b>                            | 3 семестр - 16 часов;                                    |
| <b>Практические занятия</b>              | 3 семестр - 32 часа;                                     |
| <b>Лабораторные работы</b>               | не предусмотрено учебным планом                          |
| <b>Консультации</b>                      | проводится в рамках часов аудиторных занятий             |
| <b>Самостоятельная работа</b>            | 3 семестр - 59,7 часа;                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>              | не предусмотрено учебным планом                          |
| <b>Иная контактная работа</b>            | проводится в рамках часов аудиторных занятий             |
| <b>включая:</b>                          |  |
| <b>Коллоквиум</b>                        |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>         |  |
| <b>Зачет</b>                             | 3 семестр - 0,3 часа;                                    |

Москва 2024

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

|   |  |                                 |
|---|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|   | Владелец   | Дмитриев А.С.                   |
|   | Идентификатор                                      | R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f |

А.С. Дмитриев


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

|   |  |                                 |
|---|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|   | Владелец   | Дмитриев А.С.                   |
|   | Идентификатор                                      | R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f |

А.С. Дмитриев

Заведующий выпускающей  
кафедрой

|   |  |                           |
|---|--|---------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                           |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                           |
|   | Владелец   | Пузина Ю.Ю.               |
|   | Идентификатор                                      | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

Ю.Ю. Пузина

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основ науки о функциональных наноповierzностях и их приложениях в современной теплофизике, гидродинамике и тепломассообмене, оптоэлектронике, нанопотонике, наноплазмонике и метаматериалах применительно к традиционным и перспективным задачам энергетики

### Задачи дисциплины

- изучение современной науки о физико-химии наноповierzностей, включая различные масштабы – от макро до нано, в частности на базе наноконпонент и наноматериалов;
- изучение механизмов смачивания и растекания, а также гистерезиса наноповierzностях различной морфологии;
- изучение процессов испарения, конденсации кипения на различных функциональных повierzностях; анализ интенсификации испарения, конденсации и кипения на повierzностях мультимасштабной структуры и сложной морфологии;
- изучение особенностей материалов для повierzностей в оптоэлектронике и технологии метаматериалов, приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения  |
|--|---|--|
| ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития наноразмерных систем и устройств | ИД-2ПК-3 Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности наноразмерных систем и устройств | знать:<br>- способы расчета процессов в современной гидродинамике и теплофизике;<br>- типовые решения систем, проводить комплексный анализ наноразмерных систем и устройств на основе современной оптоэлектроники.<br><br>уметь:<br>- проводить расчеты эффективности типовых нанотехнологических устройств современной энергетики и оптоэлектроники;<br>- подбирать компоненты современной оптоэлектроники и проводить их расчет. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Физико-химия наноструктур
- знать Физика твердого тела
- знать Современная оптоэлектроника
- знать Электромеханические и наномеханические системы
- знать Тепловые процессы в наноструктурах

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации          | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания   |
|-------|---|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|
|       |   |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |  |
|       |   |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |  |
| КПР   | ГК  | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |  |
| 1     | 2   | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15   |
| 1     | Функциональные поверхности, их морфология и масштабность        | 17                    | 3       | 4  | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | 7                 | -                                 | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Функциональные поверхности, их морфология и масштабность"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 72-101<br/>[2], 192-234<br/>[3], 36-48</p> |
| 1.1   | Функциональные поверхности, их морфология и масштабность        | 17                    |         | 4  | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | 7                 | -                                 |  |
| 2     | Смачивание и растекание капель по функциональным поверхностям   | 13                    |         | 2  | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | 5                 | -                                 |  |
| 2.1   | Смачивание и растекание капель по функциональным поверхностям   | 13                    |         | 2  | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | 5                 | -                                 |  |
| 3     | Испарение капель на функциональных многомасштабных поверхностях | 17                    |         | 2  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 11                | -                                 |  |
| 3.1   | Испарение капель на функциональных многомасштабных поверхностях | 17                    |         | 2  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 11                | -                                 |  |

|     |   |       |    |   |    |   |   |   |   |   |     |      |                            |  |
|-----|---|-------|----|---|----|---|---|---|---|---|-----|------|----------------------------|--|
|     |   |       |    |   |    |   |   |   |   |   |     |      | [2], 192-234<br>[3], 52-74 |  |
| 4   | Кипение на функциональных поверхностях                                      | 19    | 2  | - | 6  | - | - | - | - | - | -   | 11   | -                          | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Кипение на функциональных поверхностях"                                      |
| 4.1 | Кипение на функциональных поверхностях                                      | 19    | 2  | - | 6  | - | - | - | - | - | -   | 11   | -                          | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[3], 36-48   |
| 5   | Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях                 | 18.7  | 2  | - | 4  | - | - | - | - | - | -   | 12.7 | -                          | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях"                 |
| 5.1 | Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях                 | 18.7  | 2  | - | 4  | - | - | - | - | - | -   | 12.7 | -                          | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 72-101<br>[2], 192-234<br>[3], 56-78  |
| 6   | Функциональные поверхности в оптоэлектронике, нанофотоники и наноплазмонике | 23    | 4  | - | 6  | - | - | - | - | - | -   | 13   | -                          | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Функциональные поверхности в оптоэлектронике, нанофотоники и наноплазмонике" |
| 6.1 | Функциональные поверхности в оптоэлектронике, нанофотоники и наноплазмонике | 23    | 4  | - | 6  | - | - | - | - | - | -   | 13   | -                          | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 72-101<br>[2], 192-234<br>[3], 116-161  |
|     | Зачет   | 0.3   | -  | - | -  | - | - | - | - | - | 0.3 | -    | -                          |  |
|     | Всего за семестр  | 108.0 | 16 | - | 32 | - | - | - | - | - | 0.3 | 59.7 | -                          |  |
|     | Итого за семестр  | 108.0 | 16 | - | 32 | - | - | - | - | - | 0.3 | 59.7 | -                          |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Функциональные поверхности, их морфология и масштабность

##### 1.1. Функциональные поверхности, их морфология и масштабность

Функциональные поверхности и их виды. Морфология поверхности и ее описание. Мультимасштабность поверхностей. Особенности наноструктурированных поверхностей.

#### 2. Смачивание и растекание капель по функциональным поверхностям

##### 2.1. Смачивание и растекание капель по функциональным поверхностям

Понятие контактных углов. Модели (моды) смачивания: режим Юнга, режим Вентцеля и режим Касси-Бакстера. Понятие о гистерезисе контактных углов и его механизмах.

#### 3. Испарение капель на функциональных многомасштабных поверхностях

##### 3.1. Испарение капель на функциональных многомасштабных поверхностях

Испарение капель в объеме. Тепломассообмен при испарении капель на подложках. Диффузионная лимитирующая стадия. Испарение капель на поверхности и роль контактных углов. Режимы испарения с постоянным контактным углом и постоянной контактной линией. Кинетическая стадия испарения.

#### 4. Кипение на функциональных поверхностях

##### 4.1. Кипение на функциональных поверхностях

Особенности кипения на функциональных поверхностях. Роль морфологии и мультимасштабности в динамике кипения капель. Пузырьковое, переходное и пленочное кипение капель. Режим левитации при кипении капель (эффект Лейденфроста). Кипение капель мезо- и нанокolloидов. Эффект кофе-ринга.

#### 5. Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях

##### 5.1. Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях

Конденсация пара на функциональных и мультимасштабных поверхностях. Особенности наноструктуры на скорость конденсации. Нетривиальные режимы конденсации микрокапель.

#### 6. Функциональные поверхности в оптоэлектронике, наноплазмонике и наноплазмонике

##### 6.1. Функциональные поверхности в оптоэлектронике, наноплазмонике и наноплазмонике

Функциональные поверхности в оптоэлектронике. Жидкие линзы, электросмачивание и другие эффекты. Особенности морфологии поверхностей для задач наноплазмоники, наноплазмоники и метаматериалов.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Расчеты процессов электросмачивания и фокусировки в жидких линзах. Оценки свойств поверхностей метаматериалов;
2. Расчет режимов конденсации на функциональных поверхностях;
3. Тепломассообмен при кипении капель на поверхностях различной морфологии;
4. Расчет скоростей испарения капель на функциональных поверхностях;
5. Расчет контактных углов и скоростей растекания в различных моделях;
6. Оценки функциональных свойств и морфологии поверхностей: регулярность,

стохастичность и фрактальность шероховатости, морфологические сингулярности.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Функциональные поверхности, их морфология и масштабность"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Смачивание и растекание капель по функциональным поверхностям"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Испарение капель на функциональных многомасштабных поверхностях"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Кипение на функциональных поверхностях"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Функциональные поверхности в оптоэлектронике, нанофотоники и наноплазмонике"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены



### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) |   |   |   |   |   | Оценочное средство (тип и наименование)  |
|---|------------------|---|---|---|---|---|---|--|
|   |                  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |  |
| <b>Знать:</b>   |                  |   |   |   |   |   |   |  |
| типовые решения систем, проводить комплексный анализ наноразмерных систем и устройств на основе современной оптоэлектроники | ИД-2ПК-3         |   |   | + | + |   |   | Коллоквиум/Тепломассообмен при кипении капель на поверхностях различной морфологии |
| способы расчета процессов в современной гидродинамике и теплофизике   | ИД-2ПК-3         | +   | + |   |   |   |   | Коллоквиум/Оценки функциональных свойств и морфологии поверхностей                 |
| <b>Уметь:</b>   |                  |   |   |   |   |   |   |  |
| подбирать компоненты современной оптоэлектроники и проводить их расчет  | ИД-2ПК-3         |   |   |   |   | + |   | Коллоквиум/Расчет скоростей испарения капель на функциональных поверхностях        |
| проводить расчеты эффективности типовых нанотехнологических устройств современной энергетики и оптоэлектроники              | ИД-2ПК-3         |   |   |   |   |   | + | Коллоквиум/Расчеты процессов электросмачивания и фокусировки в жидких линзах       |

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Устная форма

1. Оценки функциональных свойств и морфологии поверхностей (Коллоквиум)
2. Расчет скоростей испарения капель на функциональных поверхностях (Коллоквиум)
3. Расчеты процессов электросмачивания и фокусировки в жидких линзах (Коллоквиум)
4. Теплообмен при кипении капель на поверхностях различной морфологии (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Зачет (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Дмитриев, А. С. Физико-химия наноструктур : учебное пособие по курсам "Физико-химия наночастиц и наноматериалов", "Тепловые процессы в наноструктурах", "Химия наноструктур. Часть 2" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" по профилю "Нанотехнологии и наноматериалы для энергетики" / А. С. Дмитриев, И. А. Михайлова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 240 с. - ISBN 978-5-7046-1356-5 . <http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=5631>;
2. Дмитриев, А. С. Введение в наноэнергетику : учебное пособие по курсам "Проблемы и перспективы наноэнергетики", "Физикохимия наночастиц и наноматериалов", "Тепловые процессы в наноструктурах", по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика", профилю "Нанотехнологии и наноматериалы для энергетики" / А. С. Дмитриев, И. А. Михайлова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 320 с. - ISBN 978-5-383-00654-2 .;
3. Дмитриев А. С.- "Введение в нанотеплофизику", (эл. изд.), Издательство: "Лаборатория знаний", Москва, 2015 - (793 с.) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=66201](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=66201).

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование           | Оснащение  |
|---|---|--|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор  |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                 | сервер, кондиционер  |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор  |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                 | сервер, кондиционер  |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор  |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                 | сервер, кондиционер  |
| Помещения для самостоятельной работы                                    | М-411/1, Компьютерный класс             | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный |
| Помещения для консультирования  | М-423/1, Аудитория каф. "НТ"            | стул, стол письменный  |
| Помещения для хранения оборудования и учебного                          | М-407/1, Кладовая                       | стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг,                 |

|           |  |                              |
|-----------|--|------------------------------|
| инвентаря |  | инвентарь специализированный |
|-----------|--|------------------------------|

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Функциональные наноповерхности для энергетики и оптоэлектроники

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Оценки функциональных свойств и морфологии поверхностей (Коллоквиум)  
 КМ-2 Тепломассообмен при кипении капель на поверхностях различной морфологии (Коллоквиум)  
 КМ-3 Расчет скоростей испарения капель на функциональных поверхностях (Коллоквиум)  
 КМ-4 Расчеты процессов электросмачивания и фокусировки в жидких линзах (Коллоквиум)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 8    | 11   | 15   |
| 1             | Функциональные поверхности, их морфология и масштабность                    |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Функциональные поверхности, их морфология и масштабность                    |            | +    |      |      |      |
| 2             | Смачивание и растекание капель по функциональным поверхностям               |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Смачивание и растекание капель по функциональным поверхностям               |            | +    |      |      |      |
| 3             | Испарение капель на функциональных многомасштабных поверхностях             |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Испарение капель на функциональных многомасштабных поверхностях             |            |      | +    |      |      |
| 4             | Кипение на функциональных поверхностях                                      |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Кипение на функциональных поверхностях                                      |            |      | +    |      |      |
| 5             | Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях                 |            |      |      |      |      |
| 5.1           | Конденсация на функциональных мультимасштабных поверхностях                 |            |      |      | +    |      |
| 6             | Функциональные поверхности в оптоэлектронике, нанофотоники и наноплазмоники |            |      |      |      |      |
| 6.1           | Функциональные поверхности в оптоэлектронике, нанофотоники и наноплазмоники |            |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |   |            | 15   | 25   | 25   | 35   |