

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 21.05.2025 10:12:00  
Уникальный программный ключ:  
sa953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Инженерная академия**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ВВЕДЕНИЕ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

### **28.04.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

### **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОПТО-, НАНО- И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2025 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» входит в программу магистратуры «Новые материалы и технологии опто-, нано- и микроэлектроники» по направлению 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» и изучается в 1 семестре 1 курса. Дисциплину реализует Базовая кафедра «Нанотехнологии и микросистемная техника». Дисциплина состоит из 4 разделов и 42 тем и направлена на изучение основ микроэлектромеханических систем.

Целью освоения дисциплины является обучение знаниям по различным видам микроэлектромеханических систем (гидравлические, пьезоэлектрические, магнитные, термоэлектрические и т.д.), по их физике и технологии, по основным видам наносистемной техники (наномашин, нанороботы и др.) и умению моделировать указанные устройства.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

| Шифр  | Компетенция                                                                                                                                                                                                     | Индикаторы достижения компетенции<br>(в рамках данной дисциплины)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-6  | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки                                                                                     | УК-6.1 Применяет знания о своих ресурсах для успешного осуществления собственной деятельности;<br>УК-6.2 Понимает важность совершенствования, планирования собственной деятельности и расстановки приоритетов;<br>УК-6.3 Реализует намеченные цели собственной деятельности с учетом личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда;                                                                                                 |
| ОПК-1 | Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей | ОПК-1.1 Знает основные законы, положения и методы в области естественных наук и математики;<br>ОПК-1.2 Умеет выявлять естественно-научную сущность проблем в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлений, руководствуясь законами и методами естественных наук и математики;<br>ОПК-1.3 Владеет инструментами анализа и решения инженерных и научно-технических задач в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлений;     |
| ОПК-5 | Способен использовать инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов                      | ОПК-5.1 Знает основной инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов;<br>ОПК-5.2 Умеет использовать прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов нанотехнологий и микросистемной техники;<br>ОПК-5.3 Владеет подходами для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов нанотехнологий и микросистемной техники; |

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

| Шифр  | Наименование компетенции                                                                                                                                                                                        | Предшествующие дисциплины/модули, практики* | Последующие дисциплины/модули, практики*                                                                                                                                                                                                    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-6  | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки                                                                                     |                                             | Технологическая практика;<br>Преддипломная практика;                                                                                                                                                                                        |
| ОПК-1 | Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей |                                             | Основы применения нанотехнологий и микросистемной техники;<br>Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);<br>Научно-исследовательская работа;<br>Технологическая практика;               |
| ОПК-5 | Способен использовать инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов                      |                                             | Modeling of Nanoobjects;<br>Технологии программирования в наноиндустрии;<br>Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);<br>Научно-исследовательская работа;<br>Технологическая практика; |

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

\*\* - элективные дисциплины /практики

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» составляет «5» зачетных единиц.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

| Вид учебной работы                        | ВСЕГО, ак.ч. |     | Семестр(-ы) |
|-------------------------------------------|--------------|-----|-------------|
|                                           |              |     | 1           |
| Контактная работа, ак.ч.                  | 54           |     | 54          |
| Лекции (ЛК)                               | 18           |     | 18          |
| Лабораторные работы (ЛР)                  | 0            |     | 0           |
| Практические/семинарские занятия (СЗ)     | 36           |     | 36          |
| Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч. | 99           |     | 99          |
| Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч. | 27           |     | 27          |
| Общая трудоемкость дисциплины             | ак.ч.        | 180 | 180         |
|                                           | зач.ед.      | 5   | 5           |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела (темы) |                                                                           | Вид учебной работы* |
|---------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Раздел 1      | Физические основы МЭМС          | 1.1                       | Масштабные преобразования                                                 | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 1.2                       | Характеристические числа                                                  | ЛК, СЗ              |
| Раздел 2      | Технологии МЭМС                 | 2.1                       | Термическое окисление                                                     | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.2                       | Процесс химического осаждения из газовой фазы (CVD)                       | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.3                       | Процесс химического осаждения из газовой фазы при низком давлении (LPCVD) | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.4                       | Напыление                                                                 | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.5                       | Испарение                                                                 | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.6                       | Нанесение (формовка) слоев                                                | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.7                       | Электролитическое нанесение (формовка) слоев                              | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.8                       | Анизотропное травление                                                    | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.9                       | Травление в сосудах                                                       | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.10                      | Плазменное травление                                                      | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.11                      | Реактивное ионное травление                                               | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.12                      | Реактивное травление ионным пучком                                        | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.13                      | Травление распылением                                                     | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.14                      | Травление ионным пучком                                                   | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.15                      | Лазерная обработка                                                        | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.16                      | Кремниевая объёмная микрообработка                                        | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.17                      | Кремниевая поверхностная микрообработка                                   | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.18                      | LIGA технология                                                           | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.19                      | SIGA технология                                                           | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 2.20                      | MUMPs (многопользовательская МЭМС технология)                             | ЛК, СЗ              |
| Раздел 3      | Актуаторы                       | 3.1                       | Гидравлические актуаторы                                                  | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.2                       | Тепловые (биметаллические) актуаторы                                      | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.3                       | Магнитные актуаторы                                                       | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.4                       | Пьезоэлектрические актуаторы                                              | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.5                       | Электростатические актуаторы                                              | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.6                       | МЭМС-гироскопы                                                            | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.7                       | Балочные (вибрационные) гироскопы                                         | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.8                       | Гироскоп-камертон                                                         | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.9                       | Гироскопы по технологии imems                                             | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.10                      | Гироскопы с диском-вибратором                                             | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.11                      | Вращательные вибрационные микрогироскопы                                  | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.12                      | Волоконно-оптические гироскопы                                            | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.13                      | Радиочастотные МЭМС-ключи МЭМС-конденсаторы и индуктивности               | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.14                      | Антенные МЭМС                                                             | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.15                      | МЭМС-генераторы                                                           | ЛК, СЗ              |
| Раздел 4      | НЭМС                            | 4.1                       | Нанoeлектромеханические преобразователи                                   | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 4.2                       | Наномашины                                                                | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 4.3                       | Биороботы                                                                 | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 4.4                       | Адресная доставка лекарств                                                | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 4.5                       | Адресная доставка индикаторов                                             | ЛК, СЗ              |

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Тип аудитории              | Оснащение аудитории                                                                                                                                                                                                                           | Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости) |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекционная                 | Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.                                                                       |                                                                                                                  |
| Семинарская                | Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций. |                                                                                                                  |
| Для самостоятельной работы | Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.                                  |                                                                                                                  |

\* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

1. Введение в физику нанотехнологии: методическое пособие по лабораторным и практическим работам / В. В. Беляев, Д. Н. Чаусов, А. Д. Курилов, М. Г. Бурданова, Н. В. Зверев. – Москва: Государственный университет просвещения, 2025. – 82 с. ISBN 978-5-7017-3461-4
2. Станкевич, Л. А. Интеллектуальные системы и технологии : учебник и практикум для вузов / Л. А. Станкевич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 495 с.
3. Дмитриев, А. С. Введение в нанотеплофизику: монография / А. С. Дмитриев. — 2-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 793 с. — (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-00101-669-4
4. Бунтов, Е. А. Современные устройства и элементы наноэлектроники: учебно-методическое пособие / Е. А. Бунтов, А. С. Вохминцев, Т. В. Штанг. - 2-е изд., стер. - Москва: ФЛИНТА : Изд-во Урал. ун-та, 2022. - 132 с. - ISBN 978-5-9765- 5036-0 (ФЛИНТА) ; ISBN 978-5-7996-3090-4 (Изд-во Урал. ун-та)
5. Лозовский В. Н., Лозовский С. В. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность. Учебник для вузов. 2024. 332 с. ISBN 978-5-507-47532-2.
6. Мирошкин В. П., Гареев К. Г. Магнитные материалы и приборы. Учебное пособие для вузов. 2024. 80 с. ISBN 978-5-507-48499-7
7. Александрова О. А., Лебедев А. О., Мараева Е. В. Введение в технологию материалов микроэлектроники. В 3 частях. Часть 3. Эпитаксиальный рост. Учебник для вузов. 2023. 216 с. ISBN 978-5-507-45481-5.
8. Тимошина, Ю. А. Введение в нанотехнологии : учебное пособие / Ю. А.

Тимошина, Э. Ф. Вознесенский. - Казань: КНИТУ, 2019. - 88 с. - ISBN 978-5- 7882-2719-1  
*Дополнительная литература:*

1. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей. Под редакцией Мальцева П.П. Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.  
<https://www.technosphaera.ru/lib/book/125?read=1>

2. Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учеб. пособие/ Д. И. Остертак. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. -120 с. - 60 экз. - ISBN 978-5-7782-2901-3.

3. Vasilyev V.Y. Ruthenium thin film growth kinetics under thermallyactivated pulsed chemical vapor deposition conditions. Chap. 3. / V.Y. Vasilyev // Advances in Chemistry Research. - New York: Nova Science Publishers, Inc., 2017. -Vol. 39. -P. 109-140. - ISBN 978-1- 53612-613-6

4. Кирчанов В.С. Наноматериалы и нанотехнологии: учебное пособие / В.С.Кирчанов; Пермский нац. исслед. политех. ун-т. – Пермь. Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-та 2016- 193 с.

5. Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : учеб. пособие/ А. В. Гридчин, В . А. Колчужин , В. А. Гридчин. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. -83 с. -100 экз. - ISBN 978-5-7782-3138-2

6. Гайдук Ю. С., Савицкий А. А., Реутская О. Г., Таратын И. А. Полупроводниковые газовые датчики на основе композиции оксида вольфрама и оксида индия // Нано- и микросистемная техника. Том 20. № 4 С.232 (2018)

7. Бройко А. П., Алексеев Н. И., Каленов В. Е., Корляков А. В., Лагош А. В., Лучинин В. В., Хмельницкий И. К. ИПМК-актюатор: модель, расчет и анализ процессов // Нано- и микросистемная техника. Том 20. № 4 С.242 (2018)

8. Шалимов А. С., Тимошенков С. П., Головинский М. С., Долговых Л. И., Калугин В., Чжо Мье Аунг. Обеспечение работы и самокалибровки МЭМС инклинометра в условиях воздействия различных внешних воздействующих факторов // Нано- и микросистемная техника. Том 20. № 2 С.124 (2018)

9. Теоретическая инноватика : учебник и практикум для вузов / И. А. Брусакова [и др.] ; под редакцией И. А. Брусаковой. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 333  
*Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:*

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>

- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)

- ЭБС «Троицкий мост»

2. Базы данных и поисковые системы

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации

<http://docs.cntd.ru/>

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>

- поисковая система Google <https://www.google.ru/>

- реферативная база данных SCOPUS

<http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

1. Курс лекций по дисциплине «Введение в микро- и наноэлектромеханические системы».

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

**РАЗРАБОТЧИК:**

Профессор

*Должность, БУП*

*Подпись*

Беляев Виктор

Васильевич

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:**

Заведующий кафедрой

*Должность БУП*

*Подпись*

Попов Сергей Викторович

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

Доцент

*Должность, БУП*

*Подпись*

Агасиева Светлана

Викторовна

*Фамилия И.О.*