

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 05.06.2025 09:59:02  
Уникальный программный ключ:  
sa953a0120c1891083f939673078ef1a989da518a

**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 / 27.04.04 Управление  
в технических системах**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

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

**НАНОТЕХНОЛОГИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2025 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» входит в программу магистратуры «Нанотехнологии и искусственный интеллект» по направлениям 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника / 27.04.04 Управление в технических системах 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-3  | Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели                                                                                  | УК-3.1 Определяет свою роль в команде, исходя из стратегии сотрудничества для достижения поставленной цели;;<br>УК-3.2 Формулирует и учитывает в своей деятельности особенности поведения групп людей, выделенных в зависимости от поставленной цели;;<br>УК-3.3 Анализирует возможные последствия личных действий и планирует свои действия для достижения заданного результата;;<br>УК-3.4 Осуществляет обмен информацией, знаниями и опытом с членами команды;;<br>УК-3.5 Аргументирует свою точку зрения относительно использования идей других членов команды для достижения поставленной цели;;<br>УК-3.6 Участвует в командной работе по выполнению поручений; |
| УК-6  | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки                                                                             | УК-6.1 Контролирует количество времени, потраченного на конкретные виды деятельности;;<br>УК-6.2 Вырабатывает инструменты и методы управления временем при выполнении конкретных задач, проектов, целей;;<br>УК-6.3 Анализирует свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные и т.д.), для успешного выполнения поставленной задачи;;<br>УК-6.4 Распределяет задачи на долго-, средне- и краткосрочные с обоснованием актуальности и анализа ресурсов для их выполнения.;                                                                                                                                                                             |
| ОПК-8 | Способен демонстрировать социальную ответственность за принимаемые решения, учитывать правовые и культурные аспекты, обеспечивать устойчивое развитие при ведении профессиональной и иной деятельности. | ОПК-8.1 Знает необходимые для осуществления профессиональной деятельности правовые нормы;<br>ОПК-8.2 Умеет определять тип задач в рамках избранных видов профессиональной деятельности, планировать собственную деятельность исходя из имеющихся ресурсов; соотносить главное и второстепенное, решать поставленные задачи в рамках избранных видов профессиональной деятельности;<br>ОПК-8.3 Имеет практический опыт применения нормативной                                                                                                                                                                                                                          |

| Шифр | Компетенция | Индикаторы достижения компетенции<br>(в рамках данной дисциплины)             |
|------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|      |             | базы и решения задач в области избранных видов профессиональной деятельности; |

### 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-3  | Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели                                                                                  |                                             | Научно-исследовательская работа (научно-исследовательская деятельность в области искусственного интеллекта); Технологическая практика; Преддипломная практика;        |
| УК-6  | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки                                                                             |                                             | Научно-исследовательская работа (научно-исследовательская деятельность в области искусственного интеллекта); Научно-исследовательская работа; Преддипломная практика; |
| ОПК-8 | Способен демонстрировать социальную ответственность за принимаемые решения, учитывать правовые и культурные аспекты, обеспечивать устойчивое развитие при ведении профессиональной и иной деятельности. |                                             | Иностранный язык в профессиональной деятельности; Научно-исследовательская работа;                                                                                    |

\* - 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 наноэлектромеханические 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. | 108          |     | 108         |
| Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч. | 18           |     | 18          |
| 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      | Актюаторы                       | 3.1                       | Гидравлические актюаторы                                                  | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.2                       | Тепловые (биметаллические) актюаторы                                      | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.3                       | Магнитные актюаторы                                                       | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.4                       | Пьезоэлектрические актюаторы                                              | ЛК, СЗ              |
|               |                                 | 3.5                       | Электростатические актюаторы                                              | 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.technosphera.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 thermally activated 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  
<https://mega.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 «Знаниум» <https://znanium.ru/>

2. Базы данных и поисковые системы

- Sage <https://journals.sagepub.com/>
- Springer Nature Link <https://link.springer.com/>
- Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>
- Наукометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>

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

1. Курс лекций по дисциплине «Введение в микро- и нанoeлектромеханические 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.*

Заведующий кафедрой  
механики и процессов  
управления

*Должность, БУП*

*Подпись*

Разумный Юрий  
Николаевич

*Фамилия И.О.*