

Инженерная академия

*(факультет институт/академия)*

Рекомендовано МССН

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины \_\_\_\_\_

Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы \_\_\_\_\_

Рекомендуется для направления подготовки/специальности

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

*(указываются код и наименование направления подготовки/специальности)*

Направленность программы (профиль)

Инженерно-физические технологии в нанoиндустрии (совместно с Евразийским  
национальным университетом им. Л.Н. Гумилева)

*(наименование образовательной программы в соответствии с направленностью (профилем))*

**1. Цели и задачи дисциплины:** Цель – 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: задачи – активная работа студентов на лекциях и курсовых работах

**2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:**

Дисциплина «Введение в микро- и наноэлектромеханические системы» относится к базовой части блока Б1.О.01.04 (блок 1) учебного плана.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

**Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций**

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
<b>Универсальные компетенции</b>			
1	УК-6 - Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	История и методология науки	Технологическая практика
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>			
2	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	Материалы наноструктурных установок
3	ОПК-5 - Способен использовать инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и	-	Оптические измерения

процессов.		
------------	--	--

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

УК-6 - Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки

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-5 - Способен использовать инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов.

(указываются в соответствии с ОС ВО РУДН)

В результате изучения дисциплины студент должен:

#### **Знать:**

- современные концепции естествознания, историю информатики;
- основные методы моделирования электрических схем с устройствами, изучаемыми в курсе;
- фундаментальные концепции и профессиональные результаты, системные методологии в профессиональной области;
- применять на практике методы моделирования электрических схем с устройствами, изучаемыми в курсе.

#### **Уметь:**

- осуществлять концептуальный анализ и формирование онтологического базиса при решении научных и прикладных задач в области информационных технологий;
- применять на практике компьютерные технологии для решения различных задач по моделированию технических средств систем управления;
- использовать новые знания и применять их в профессиональной деятельности; системы и средства информационных технологий для решения научно-исследовательских и практических задач;

#### **Владеть:**

- основами методологии научного познания и системного подхода при изучении различных уровней организации материи, информации, пространства и времени;
- навыками решения практических задач по моделированию технических средств систем управления;
- методологией и навыками решения научных и практических задач по моделированию и применению технических средств систем управления.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет \_\_\_\_\_ зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		1	2		
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>					
В том числе:	-	-	-	-	-
<i>Лекции</i>	17	9	8		
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	34	18	16		
<i>Семинары (С)</i>					
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>					
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	129	81	48		
Общая трудоемкость	час	180	108	72	
	зач. ед.	5	3	2	

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Физические основы МЭМС	Масштабные преобразования Характеристические числа
2.	Технологии МЭМС	Термическое окисление Процесс химического осаждения из газовой фазы (CVD) Процесс химического осаждения из газовой фазы при низком давлении (LPCVD) Напыление Испарение Нанесение (формовка) слоев Электролитическое нанесение (формовка) слоев Анизотропное травление Травление в сосудах Плазменное травление Реактивное ионное травление Реактивное травление ионным пучком Травление распылением Травление ионным пучком Лазерная обработка Кремниевая объёмная микрообработка Кремниевая поверхностная микрообработка LIGA технология SIGA технология MUMPs (многопользовательская МЭМС технология)
3.	Актюаторы	Гидравлические актюаторы Тепловые (биметаллические) актюаторы Магнитные актюаторы Пьезоэлектрические актюаторы Электростатические актюаторы МЭМС-гироскопы Балочные (вибрационные) гироскопы Гироскоп-камертон Гироскопы по технологии imems Гироскопы с диском-вибратором Вращательные вибрационные микрогироскопы Волоконно-оптические гироскопы Радиочастотные МЭМС-ключи МЭМС-конденсаторы и индуктивности Антенные МЭМС МЭМС-генераторы
4.	НЭМС	Наноэлектромеханические преобразователи Наномшины Биороботы Адресная доставка лекарств Адресная доставка индикаторов

*(Содержание указывается в дидактических единицах. По усмотрению разработчиков материал может излагаться не в форме таблицы)*

### 5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ.	Лаб.	Семина	СРС	Все-
---	---------------------------------	-------	--------	------	--------	-----	------

п/п			зан.	зан.			го час.
1.	Физические основы МЭМС	4	8			32	44
2.	Технологии МЭМС	4	9			32	45
3.	Актюаторы	5	9			33	47
4.	НЭМС	4	8			32	44

#### 6. Лабораторный практикум – не предусмотрен

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)
1.			
2.			
...			

#### 7. Практические занятия (семинары) (при наличии)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)
1.	1.	Характеристические числа	8
2.	2.	Кремниевая объёмная микрообработка Кремниевая поверхностная микрообработка LIGA технология	9
3.	3.	Тепловые (биметаллические) актюаторы Магнитные актюаторы Пьезоэлектрические актюаторы Электростатические актюаторы МЭМС-гироскопы	9
4.	4.	Наномшины Биороботы Адресная доставка лекарств	8

#### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Контрольные вопросы, сценарии к проведению лекций и практических занятий, подбор вопросов для докладов. Компьютерный класс, оснащенный видеопроектором.  
Оборудование кафедры «Нанотехнологии и микросистемная техника» инженерной академии РУДН.

#### 9. Информационное обеспечение дисциплины

а) программное обеспечение: Стандартное программное обеспечение ЭВМ.

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>
- поисковая система Google <https://www.google.ru/>
- реферативная база данных SCOPUS <http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>
- РИНЦ - национальная библиографическая база данных научного цитирования <https://elibrary.ru/authors.asp>
- 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 «Лань» <http://e.lanbook.com/>

#### 10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература

1. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей. Под редакцией Мальцева П.П. Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.  
<https://www.technosfera.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

б) дополнительная литература

1. 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).
2. 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).
3. Шалимов А. С., Тимошенков С. П., Головинский М. С., Долговых Л. И., Калугин В. 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).

**11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

а) Методические указания для самостоятельной работы.

Рекомендуется использовать следующий перечень вопросов и заданий, охватывающий все темы дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание темы
1.	Физические основы МЭМС	Масштабные преобразования Характеристические числа
2.	Технологии МЭМС	Термическое окисление Процесс химического осаждения из газовой фазы (CVD) Процесс химического осаждения из газовой фазы при низком давлении (LPCVD) Напыление Испарение Нанесение (формовка) слоев Электролитическое нанесение (формовка) слоев Анизотропное травление Травление в сосудах Плазменное травление Реактивное ионное травление Реактивное травление ионным пучком

		Травление распылением Травление ионным пучком Лазерная обработка Кремниевая объёмная микрообработка Кремниевая поверхностная микрообработка LIGA технология SIGA технология MUMPs (многопользовательская МЭМС технология)
3.	Актюаторы	Гидравлические актюаторы Тепловые (биметаллические) актюаторы Магнитные актюаторы Пьезоэлектрические актюаторы Электростатические актюаторы МЭМС-гироскопы Балочные (вибрационные) гироскопы Гироскоп-камертон Гироскопы по технологии imems Гироскопы с диском-вибратором Вращательные вибрационные микрогироскопы Волоконно-оптические гироскопы Радиочастотные МЭМС-ключи МЭМС-конденсаторы и индуктивности Антенные МЭМС МЭМС-генераторы
4.	НЭМС	Наноэлектромеханические преобразователи Наномашины Биороботы Адресная доставка лекарств Адресная доставка индикаторов

б) Методические указания для подготовки доклада

Цель выполнения доклада – закрепление, углубление и обобщение теоретических знаний, практических навыков, полученных студентами во время изучения дисциплины «Введение в микро- и наноэлектромеханические системы», а также создание и развитие навыков исследовательской работы, умения работать с научной литературой, делать на основе ее изучения выводы и обобщения. Студенты овладевают методологией проведения научных исследований; грамотного и логичного изложения материала; аргументированного собственного отношения к рассматриваемой проблеме (теме работы).

Тема доклада студентов должна:

- отвечать содержанию учебной программы для дисциплины «Введение в микро- и наноэлектромеханические системы»;
- иметь четкое и короткое название;
- отвечать сущности задач, которые изучаются.

Структурными элементами доклада являются:

Вводная часть

- титульный лист (образец в приложении А)
- содержание;
- введение.

Основная часть

- три (возможно два) раздела;
- заключение

Список использованной литературы

Приложения.

Доклад оформляется в бумажном и электронном виде (в формате .doc), а также оформляется презентация в электронном виде (в формате .ppt), отражающая все структурные элементы доклада.

Титульный лист содержит наименование высшего учебного заведения, департамента, где выполнена работа; фамилия, имя, отчество автора; тема работы; шифр и наименование специальности; шифр группы; ученая степень, ученое звание, фамилия, имя и отчество руководителя работы; город и год.

Текст доклада следует печатать, соблюдая следующие параметры:

- формат бумаги - А4 (210x297 мм) на одной стороне листа,
- размеры полей: левое - 30 мм, правое - 10 мм, верхнее и нижнее - 20 мм,
- абзац - 10 мм,
- шрифт Times New Roman размером 14 пт (с одинарным межстрочным интервалом) или 12 (интервал полуторный),
- форматирование - выравнивание по ширине листа,
- переносы в тексте автоматические,
- отступы и интервалы - 0 см,
- при настройке позиции «Положение на странице» - снять все галочки,
- сквозная нумерация страниц текста арабскими цифрами, включая список использованных источников и приложения (титульный лист не нумеруется). Номер страницы проставлять внизу страницы в средней ее части без точки в конце и не заключая в дефисы. Номер страницы не должен сливаться с текстом. Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, компьютерные распечатки, приложения включают в общую нумерацию страниц документа.

Вне зависимости от способа выполнения работы качество напечатанного текста и оформление иллюстраций (таблиц, графиков и т.п.) должно удовлетворять требованиям: равномерная плотность, контрастность и четкость букв, цифр, знаков и изображения по всей работе.

Каждый раздел (Введение, разделы основной части, Заключение) должен начинаться с новой страницы и иметь номер (арабскими цифрами) и заголовок. Раздел можно разбивать на подразделы, пункты и подпункты. Наименования разделов и подразделов должны соответствовать наименованиям, приведенным в Содержании. Разделы могут обозначаться как Главы.

Если заголовок включает несколько предложений, их разделяют точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Заголовки разделов следует располагать посередине строки, печатать прописными буквами без точки в конце.

Заголовки подразделов и пунктов следует начинать с абзацного отступа и печатать с прописной буквы без точки в конце.

Интервал между заголовками разделов и текстом должен быть не менее 6 пунктов.

Пункты и подпункты основной части следует писать с абзацного отступа.

По окончании работы необходимо тщательно отредактировать рукопись, поскольку наличие орфографических, стилистических, оформительских ошибок может отрицательно сказаться на оценке работы. Все листы работы следует сброшюровать.

Иллюстрации, за исключением иллюстрации приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Все иллюстрации называются Рисунок и нумеруются.

Если рисунок один, то он обозначается «Рис. 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рис. 1.1.



Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование. Слово «Рис.» и наименование помещают после иллюстрации и располагают по центру.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рис. А.3. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рис. 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рис. 1.2» при нумерации в пределах раздела. Сокращения слова рисунок при ссылке в тексте недопустимы.

Приложение оформляют как продолжение работы на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного раздела работы.

В тексте работы на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте работы. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение».

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.

В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в выпускной работе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

На все приложения в основном тексте документа должны быть сделаны ссылки, а в содержании перечислены все приложения с указанием их номера и заголовка.

#### Перечень тем докладов:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Название темы
1.	Физические основы МЭМС	Масштабные преобразования Характеристические числа
2.	Технологии МЭМС	Термическое окисление Процесс химического осаждения из газовой фазы (CVD) Процесс химического осаждения из газовой фазы при низком давлении (LPCVD) Напыление Испарение Нанесение (формовка) слоев Электролитическое нанесение (формовка) слоев Анизотропное травление Травление в сосудах Плазменное травление Реактивное ионное травление Реактивное травление ионным пучком Травление распылением Травление ионным пучком Лазерная обработка Кремниевая объёмная микрообработка Кремниевая поверхностная микрообработка LIGA технология SIGA технология MUMPs (многопользовательская МЭМС технология)
3.	Актюаторы	Гидравлические актюаторы Тепловые (биметаллические) актюаторы Магнитные актюаторы

		Пьезоэлектрические актюаторы Электростатические актюаторы МЭМС-гироскопы Балочные (вибрационные) гироскопы Гироскоп-камертон Гироскопы по технологии imems Гироскопы с диском-вибратором Вращательные вибрационные микрогироскопы Волоконно-оптические гироскопы Радиочастотные МЭМС-ключи МЭМС-конденсаторы и индуктивности Антенные МЭМС МЭМС-генераторы
4.	НЭМС	Нанoeлектромеханические преобразователи Наномашины Биороботы Адресная доставка лекарств Адресная доставка индикаторов

## 12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Материалы для оценки уровня освоения учебного материала дисциплины «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» (оценочные материалы), включающие в себя перечень компетенций с указанием этапов их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, разработаны в полном объеме и доступны для обучающихся на странице дисциплины в ТУИС РУДН.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

### Разработчики:

Профессор,

Кафедра «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
должность, название кафедры



подпись

В.В. Беляев  
инициалы, фамилия

**Руководитель программы**

Доцент,

Кафедра «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
должность, название кафедры



подпись

С.В. Агасиева  
инициалы, фамилия

**ИО заведующего кафедрой**

Доцент,

Кафедра «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
должность, название кафедры



подпись

С.В. Агасиева  
инициалы, фамилия