

ПРИЛОЖЕНИЕ  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Радиотехнических устройств»

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Датчики на основе микро- и нанотехнологий»**

Направление подготовки  
11.03.01 Радиотехника

Направленность (профиль) подготовки  
«Радиофотоника»

Уровень подготовки  
**Бакалавриат**

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2021 г

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретённых обучающимися на практических занятиях и лабораторных работах. При выполнении лабораторных работ применяется система оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ по каждому модулю определено графиком, утвержденным заведующим кафедрой.

На практических занятиях допускается использование либо системы «зачтено – не зачтено», либо рейтинговой системы оценки, при которой, например, правильно решенная задача оценивается определенным количеством баллов. При поэтапном выполнении учебного плана баллы суммируются. Положительным итогом выполнения программы является определенное количество набранных баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением зачёта и экзамена.

Форма проведения зачёта - устный ответ по билетам, содержащим вопрос и набор ответов, один из которых - правильный.

Форма проведения экзамена – устный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. В процессе подготовки к устному ответу экзаменуемый может составить в письменном виде план ответа, включающий в себя определения, выводы формул, рисунки и т.п.

### **Планируемые результаты обучения**

Поскольку перечисленные компетенции носят интегральный характер, для разработки оценочных средств целесообразно выделить планируемые результаты обучения – знания, умения и навыки, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы. Таким образом, в результате освоения дисциплины «Датчики на основе микро- и нанотехнологий» студенты должны:

Знать:

| <b>Результаты обучения</b>                                                                   | <b>Показатели оценки результатов</b>                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Общие принципы разработки микроэлектронных измерительно-информационных средств (MEMS)        | Наличие базовых знаний по общим вопросам проектирования и изготовления MEMS                     |
| Предметные области по терминологии, принципам работы, технико-экономическим характеристикам, | Знание основных конструктивно-технологических, метрологических и эксплуатационных характеристик |

|                                                                                                    |                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| вопросам проектирования и применения преобразователей и датчиков на основе микро- и нанотехнологий | преобразователей и датчиков на основе микро- и нанотехнологий, а также области их применения |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|

Уметь:

| Результаты обучения                                                                                                    | Показатели оценки результатов                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Оценивать и рассчитывать основные технико-экономические характеристики микроэлектронных датчиков и преобразователей    | Умение рассчитывать метрологические, оценивать эксплуатационные и экономические характеристики микроэлектронных датчиков и преобразователей |
| Использовать аппаратуру для экспериментального исследования характеристик микроэлектронных датчиков и преобразователей | Умение использовать измерительную аппаратуру для экспериментального исследования характеристик микроэлектронных датчиков                    |

Владеть:

| Результаты обучения                                                                          | Показатели оценки результатов                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Практическими навыками оценки основных метрологических и эксплуатационных характеристик MEMS | Способность продемонстрировать владение практическими навыками оценки чувствительности, быстродействия и погрешностей MEMS |

### Промежуточная аттестация по дисциплине

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Датчики на основе микро- и нанотехнологий» является экзамен (Э) в 5-м семестре.

### Темы практических занятий

| № п/п | Темы практических занятий                                                                                                                                                                                              | Формируемые компетенции | Форма контроля |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 1     | MEMS акселерометр, магнитометр, датчик угловой скорости: устройство и принцип действия                                                                                                                                 | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 2     | Обобщенная структурная схема MARG-БИНС на основе инерциального МЭМС-датчика (IMU)                                                                                                                                      | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 3     | Математическая модель измерений в MEMS акселерометре, магнитометре, датчике угловой скорости                                                                                                                           | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 4     | Источники ошибок в MEMS датчиках; калибровка показаний MEMS акселерометра, магнитометра, датчика угловой скорости                                                                                                      | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 5     | Математический аппарат для интерпретации данных MEMS датчиков. Кинематические уравнения инерциальной навигационной системы; интегрирование показаний МЭМС датчика и определение ориентации связанной системы координат | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 6     | Выставка МЭМС датчика. Фильтр Калмана, Мэдживика, Махони для IMU Fusion                                                                                                                                                | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 7     | Показатели энергопотребления, токи и напряжения в микроэлектронных датчиках                                                                                                                                            | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 8     | Дисперсия Аллана. Кратковременная стабильность, температурная стабильность, дрейф показаний МЭМС датчика                                                                                                               | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |

## Темы лабораторных работ

| № п/п | Темы лабораторных работ                                                                                                                                              | Формируемые компетенции | Форма контроля |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 1     | Исследование MARG датчика ADIS 16407: основные регистры, режимы работы, обмен данными с внешним устройством                                                          | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 2     | Исследование MARG датчика ADIS 16407: управление фильтрацией, децимацией и динамическим диапазоном гироскопа; шумы и иные источники погрешностей; калибровка датчика | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 3     | Исследование MARG датчика ADIS 16407: интерпретация данных, интегрирование; выставка датчика и внешняя фильтрация показаний                                          | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |
| 4     | Исследование MARG датчика ADIS 16407: кратковременная и долговременная стабильность, дисперсия Аллана                                                                | ПК-1, ПК-2              | Экзамен        |

### Критерии оценивания компетенций (результатов)

При оценивании компетенций необходимо учитывать следующие факторы:

1. Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
2. Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
3. Ответы на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, умение
4. Качество ответа (его общая композиция, логичность, убежденность, общая эрудиция)
5. Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Уровень освоения сформированности знаний, умений и навыков по дисциплине оценивается в форме бальной отметки:

**«Отлично»** заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

**«Хорошо»** заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

**«Удовлетворительно»** заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

**«Неудовлетворительно»** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка

«неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который прочно усвоил предусмотренный программный материал; правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров; показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой, другими темами данного курса, других изучаемых предметов; без ошибок выполнил практическое задание.

Обязательным условием выставленной оценки является правильная речь в быстром или умеренном темпе. Дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной и контрольной работы, систематическая активная работа на семинарских занятиях.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не справился с 50% вопросов и заданий билета, в ответах на другие вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем. Целостного представления о взаимосвязях, компонентах, этапах развития культуры у студента нет. Оценивается качество устной и письменной речи, как и при выставлении положительной оценки.

### Вопросы к экзамену

1. Основные сведения о МЭМС датчиках: классификация, виды, применение. Инерциальный измерительный компонент (IMU), типовая функциональная схема.
2. Виды МЭМС акселерометров. Реализация эталонной массы. Емкостный способ возбуждения колебаний и считывания ускорения с помощью гребенчатого привода.
3. Виды МЭМС гироскопов. Емкостный способ возбуждения колебаний и считывания угловой скорости с помощью гребенчатого привода.
4. Процесс изготовления МЭМС по технологии КМОП. Основные этапы создания трехмерных микроструктур.
5. Процесс изготовления МЭМС по технологии КМОП. Виды литографии и процессов обработки слоев МЭМС.
6. Используемые материалы и виды травления при изготовлении МЭМС.
7. Колебания и шумы в МЭМС. Тепловой шум.
- 8.
9. Эксплуатационные характеристики МЭМС датчиков.
10. Устройство и принцип действия МЭМС датчиков: акселерометра, измерителя угловой скорости, магнитометра.
11. Обобщенная структурная схема инерциальной навигационной системы на основе MARG датчика.
12. Математическая модель ошибок трехосного акселерометра.
13. Математическая модель ошибок трехосного гироскопа.
14. Математическая модель ошибок трехосного магнитометра. Магнитное склонение и наклонение.
15. Основные метрологические характеристики микроэлектронных датчиков.
16. Математическая модель измерений в MEMS акселерометре, магнитометре, датчике угловой скорости.
17. Описание ориентации объекта с помощью кватернионов. Параметры Родрига-Гамильтона. Связь показаний измерителя угловой скорости с ориентирующим кватернионом и углами Эйлера-Крылова.
18. Простая калибровка МЭМС датчика, включающего трехосный акселерометр, магнитометр и гироскоп.

19. Статистическая модель МЭМС датчика. Внутренние шумы, кратковременная и долговременная нестабильность. Дрейф показаний.
20. Борьба с шумами МЭМС датчика. Интегрирование, интерполяция и первичная фильтрация данных. Дисперсия Аллана.
21. Комплексирование данных МЭМС датчика. Использование фильтра Калмана для объединения данных акселерометра, гироскопа и магнитометра.
22. Комплексирование данных МЭМС датчика. Использование фильтров Маджвика и Махони для объединения данных акселерометра, гироскопа и магнитометра.
23. Кинематические уравнения инерциальной навигационной системы; интегрирование и внутренняя фильтрация показаний МЭМС датчика.
24. Выставка МЭМС акселерометра, гироскопа и магнитометра.