

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

(подпись)

18.07.2018

(дата утверждения)

О.И. Чуприс

Регистрационный № УД-5361/уч.

**МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
ОТ КОРПУСКУЛЯРНОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине по специальности высшего образования второй  
ступени (магистратуры):

**Специальность 1-31 80 08 Физическая электроника**

2018 г.

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

\_\_\_\_\_ О.И.Чуприс  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(дата утверждения)

Регистрационный № УД-\_\_\_\_\_/уч.

**МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
ОТ КОРПУСКУЛЯРНОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине по специальности высшего образования второй  
ступени (магистратуры):**

**Специальность 1-31 80 08 Физическая электроника**

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 80 08-2012 г. и учебного плана УВО № G31-285/уч. от 26.05.2017 г.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Ф.Ф.Комаров**, профессор кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета

(протокол № 11 от 22 мая 2018 г.);

Учебно-методической комиссией факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета

(протокол № 10 от 19 июня 2018 г.).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Материалы и системы для защиты от корпускулярного и электромагнитного излучения» разработана для студентов второй ступени высшего образования (магистратуры) специальности 1-31 80 08 Физическая электроника.

**Место.** Учебная дисциплина входит в цикл дисциплин специальной подготовки компонента учреждения высшего образования и относится к дисциплинам по выбору.

**Взаимосвязь.** Для успешного усвоения учебной дисциплины необходимы знания в объеме курса общей физики первой ступени высшего образования.

**Целью** изучения учебной дисциплины является формирование у студентов магистратуры систематизированных знаний и практических навыков в области физической электроники, посвященной воздействиям корпускулярных (быстрые протоны, электроны, тяжелые ионы, частицы космической пыли) и электромагнитных (УФ-, видимого и ИК-, терагерцевого и СВЧ-, рентгеновского и гамма-излучений) на материалы и приборы электроники; средства вычислительной техники, оптические и оптоэлектронные системы, персонал космических аппаратов, а также материалам и системам для защиты от корпускулярных и электромагнитных излучений (КиЭМИ).

**Задачи учебной дисциплины:**

- изучить основные физические и физико-химические процессы при воздействии указанных выше КиЭМИ на материалы и приборы микро-, опто- и нанoeлектроники, оптические и оптоэлектронные системы космической техники;
- изучить основные физические принципы, заложенные в основу проектирования систем защиты от КиЭМИ, требований к материалам и структурам этих систем;
- ознакомить с технологическими процессам и методиками создания композиционных материалов и систем на их основе для защиты от КиЭМИ;
- ознакомить с областями применения указанных материалов и систем.

В результате изучения учебной дисциплины магистрант должен:

**знать:**

- теоретические основы физических явлений, происходящих при взаимодействии потоков высокоэнергетичных атомных частиц и их кластеров, электронов и ионов, плазменных потоков с твердыми телами;
- основы физики взаимодействия электромагнитных излучений широкого спектрального диапазона с твердыми телами и биологическими объектами;
- основы физико-химических процессов создания композитных материалов и слоистых систем, обеспечивающих требуемый уровень экранировки от КиЭМИ;

– устройство и принципы работы лабораторного и технологического оборудования для создания материалов и систем экранировки от КиЭМИ на их основе;

**уметь:**

– на базе физического и инженерного подходов оценивать возможности современного научно-технического и технологического оборудования для создания новых и высокоэффективных материалов и систем экранировки от КиЭМИ;

– проводить экспериментальные исследования физико-химических процессов, связанных с разработкой новых материалов и технологий создания стойких к воздействию КиЭМИ приборов микро-, опто- и наноэлектроники, материалов и систем для защиты от КиЭМИ информационных и оптических систем, персонала, обслуживающего технические системы, включая космические;

**владеть:**

– методиками формирования композитных материалов, нанесения пленочных покрытий, обработки поверхностей для обеспечения требуемых свойств, опытом проведения работ по компьютерному моделированию процессов взаимодействия КиЭМИ с материалами, приборами и системами электроники.

Освоение программы по учебной дисциплине «Материалы и системы для защиты от корпускулярного и электромагнитного излучения» должно обеспечить формирование следующих **компетенций**:

**Академические:**

- АК-1. Способность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности (анализ, сопоставление, систематизация, абстрагирование, моделирование, проверка достоверности данных, применение решений), готовность генерировать и использовать новые идеи.

- АК-2. Методологические знания и исследовательские умения, обеспечивающие решение задач научно-исследовательской, научно-педагогической, организационно-управленческой и инновационной деятельности.

**Социально-личностные:**

- СЛК-1. Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности.

- СЛК-3. Формировать и аргументировать собственные суждения и профессиональную позицию.

- СЛК-4. Анализировать и принимать решения по социальным, этическим, научным и техническим проблемам, возникающим в профессиональной деятельности.

**Профессиональные:**

- ПК-1. Работать с научно-технической информацией с использованием современных информационных технологий.

- ПК-8. Разрабатывать и совершенствовать радиофизические методы исследований.
- ПК-9. Осуществлять постановку и проведение теоретических и экспериментальных исследований.
- ПК-12. Обосновывать достоверность полученных научных результатов.
- ПК-13. Формулировать выводы и рекомендации по применению результатов научно-исследовательской работы.
- ПК-14. Оформлять научные статьи и доклады.
- ПК-19. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития физики и техники, инновационным технологиям.

Программа изучаемой дисциплины рассчитана на 122 часа, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекций - 18 часов, лабораторных работ – 30 часов.

Учебная дисциплина «Материалы и системы для защиты от корпускулярного и электромагнитного излучения» изучается студентами дневной формы получения высшего образования **второй ступени (магистратуры)** в 3-ем семестре.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме зачета по лекционному курсу и лабораторному практикуму.

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

**Тема 1. Введение.** Цель и задачи дисциплины. Типы корпускулярных и электромагнитных излучений (КиЭМИ) в окружающей среде, в помещениях с функционирующими электронными и оптоэлектронными системами, в космической среде. Роль материалов и систем защиты от излучений в обеспечении электромагнитной совместимости электронных приборов, обеспечении безопасной эксплуатации электронных и информационных систем.

**Тема 2. Источники генерации КиЭМИ в космосе.** Космическая среда и ее воздействие на материалы и приборы электроники. Классификация факторов космического пространства и эффектов их воздействия. Воздействие космического вакуума, частиц ионосферной плазмы и солнечного излучения, галактических излучений. Электризация космических аппаратов при взаимодействии с плазмой.

**Тема 3. Радиационные воздействия.** Радиационные воздействия на конструкционные материалы и электронные приборы космических аппаратов в радиационных поясах Земли. Воздействие солнечных и галактических излучений на биологические объекты и человека.

**Тема 4. Воздействие быстрых твердых микрочастиц.** Характеристики микрочастиц естественного и искусственного происхождения в космическом пространстве. Физико-химические процессы при воздействии быстрых

микрочастиц на системы электроники и конструкционные материалы космических аппаратов. Методы наземного моделирования указанных процессов.

**Тема 5. Радиопоглощающие материалы для защиты от КиЭМИ.** Физические принципы, обеспечивающие экранировку КиЭМИ. Однослойные и многослойные, градиентные защитные покрытия. Наноматериалы и нанотехнологии в системах защиты от космического и искусственного происхождения КиЭМИ.

**Тема 6. Антропогенные источники электромагнитных излучений (ЭМИ). Безопасность систем электроники и жизнедеятельности человека.** Источники электромагнитного излучения в окружающей среде. Механизмы воздействия ЭМИ на системы электроники и живые организмы.

**Тема 7. Методы и средства защиты от ЭМИ.** Материалы для экранов ЭМИ. Средства защиты от ЭМИ персональных компьютеров и сотовых телефонов. Перспективные композитные материалы на основе полимеров с добавкой углеродных и магнитных наноматериалов (углеродных нанотрубок, графена и др.) для систем защиты от ЭМИ в широком спектральном диапазоне.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                           | Количество аудиторных часов |                      |                      |                     | Материальное обеспечение занятия (методические пособия и др.)                                                 | Литература                | Форма контроля знаний                          |
|---------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|
|                     |                                                  | Лекции                      | Практические занятия | Лабораторные занятия | Семинарские занятия |                                                                                                               |                           |                                                |
| 1                   | 2                                                | 3                           | 4                    | 5                    | 6                   | 7                                                                                                             | 8                         | 9                                              |
| 1.                  | <b>Введение (2 ч)</b>                            | 2                           | -                    | -                    | -                   | Электронный конспект лекций                                                                                   | [1]<br>[8]                |                                                |
| 2.                  | <b>Источники генерации КиЭМИ в космосе (6 ч)</b> | 2                           | -                    | 4                    | -                   | Электронный конспект лекций. Ускоритель частиц AN-2500 HVE. Импульсный лазер. Метод. указания к лаб. работам. | [1]<br>[3]<br>[4]<br>[14] | Устный опрос.<br>Отчет по лабораторной работе. |
| 3.                  | <b>Радиационные воздействия (12 ч)</b>           | 4                           | -                    | 8                    | -                   | Электронный конспект лекций. Ускоритель частиц AN-2500 HVE. Электронный                                       | [1]<br>[3]<br>[4]         | Устный опрос.<br>Отчет по лабораторной работе. |

|    |                                                              |   |   |    |   |                                                                                                                                                                                                                 |                                   |                                                |
|----|--------------------------------------------------------------|---|---|----|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|
|    |                                                              |   |   |    |   | микроскоп Hitachi H-800.<br>Программный комплекс SRIM.<br>Метод. указания к лаб. работам.                                                                                                                       |                                   |                                                |
| 4. | <b>Воздействие быстрых твердых микрочастиц (6 ч)</b>         | 2 | - | 4  | - | Электронный конспект лекций.<br>Электронный микроскоп Hitachi H-800.<br>Оптический микроскоп спектроскопического комплекса RAMANOR U-1000.<br>Микротвердомер фирмы Shimadzu.<br>Метод. указания к лаб. работам. | [2]<br>[3]<br>[4]<br>[6]          | Устный опрос.<br>Отчет по лабораторной работе. |
| 5. | <b>Радиопоглощающие материалы для защиты от КиЭМИ (14 ч)</b> | 4 | - | 10 | - | Смеситель с ультразвуковой ванной.<br>Аппаратно-программный комплекс для измерения электромагнитных излучений.<br>Спектроскопичес                                                                               | [7]<br>[8]<br>[9]<br>[11]<br>[14] | Отчет по лабораторной работе.                  |

|    |                                                                                                                                     |          |   |          |   |                                                                                                                                                                                                          |                                   |                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|----------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                                                     |          |   |          |   | кий комплекс<br>RAMANOR<br>U-1000.<br>Электронный<br>конспект лекций<br>Метод. указания к<br>лаб. работам.                                                                                               |                                   |                                                                      |
| 6. | <b>Антропогенные источники электромагнитных излучений (ЭМИ). Безопасность систем электроники и жизнедеятельности человека (2 ч)</b> | <b>2</b> | - | -        | - | Переносной<br>детектор<br>микроволновых<br>излучений.<br>Электронный<br>конспект лекций                                                                                                                  | [5]<br>[9]<br>[10]<br>[12]        | Устный опрос.<br>Тестирование<br>по разделу 6.                       |
| 7. | <b>Методы и средства защиты от ЭМИ (6 ч)</b>                                                                                        | <b>2</b> | - | <b>4</b> | - | Образцы<br>композитных<br>материалов для<br>систем защиты от<br>ЭМИ. Аппаратно-<br>программный<br>комплекс для<br>измерения ЭМИ.<br>Электронный<br>конспект лекций<br>Метод. указания к<br>лаб. работам. | [6]<br>[8]<br>[9]<br>[13]<br>[15] | Отчет по<br>лабораторной<br>работе.<br>Тестирование<br>по разделу 7. |

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Основная литература**

1. Новиков, Л.С. Космическое материаловедение / Л.С.Новиков. М.: Макс Пресс, 2014. 448 с.
2. Воронина, Е.Н. Математическое моделирование воздействия корпускулярных потоков на наноструктуры / Е.Н.Воронина, С.С.Новиков. М.: Книжный дом МГУ, 2016. 244 с.
3. Белоус, А.И. Космическая электроника, кн. 1 / А.И.Белоус, В.А.Солодуха, С.В.Шведов. М.: Техносфера, 2015. 695 с.
4. Белоус, А.И. Космическая электроника, кн. 2 / А.И.Белоус, В.А.Солодуха, С.В.Шведов. М.: Техносфера, 2015. 478 с.
5. Борботько, Т.В. Антропогенные источники электромагнитного излучения. Безопасность жизнедеятельности человека / Т.В.Борботько, Н.В.Колбун, Л.М.Лыньков. Минск: Бестпринрт, 2008. 214 с.
6. Комаров, Ф.Ф. Отчет о научно-исследовательской опытно-конструкторской работе «Разработка функциональных материалов для аэрокосмических систем и комплексов» № госрегистрации 553 / Ф.Ф.Комаров, С.В.Константинов, О.В.Мильчанин, И.Н.Пархоменко, И.М.Климович. Минск: НИИПФП им. А.Н.Севченко, 2017. 98 с.
7. Кондратьев, Д., Журавский, В. Использование наноструктурных материалов для повышения надежности РЭА / Наноиндустрия. № 4, 2008. С. 14.

### **Дополнительная литература**

8. Островский, В.С., Одаренко, Е.Н., Шматько, А.А. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн / Физическая инженерия поверхности. Т. 1, № 2, 2003. С. 161.
9. Альлябад, Х.М. Пассивные технические средства обеспечения информационной безопасности от утечки по электромагнитному, оптическому и акустическому каналам / Х.М. Альлябад, Т.А. Пулко, Н.В.Насонова, Л.М.Лыньков. Минск: Бестпринт, 2010. 225 с.
10. Борботько, Т.В. Углеродосодержащие минералы и области их применения / Т.В.Борботько, Ю.К.Калинин, Н.В.Колбун, Е.А.Криштопова, Л.М.Лыньков. Минск: Бестпринрт, 2009. 155 с.
11. Горшенев, В.Н., Колесов, В.В., Фионов, А.С., Эрихман, Н.С. Многослойные покрытия с изменяемыми электродинамическими характеристиками на основе наполненных полимерных матриц / Журнал радиоэлектроники. Т. 8, № 1, 2016. С. 1.
12. Сидоренко, А.В., Жалковский, М.В., Макарова, Ж.А., Солодухо, Н.А. Показатели нелинейной динамики электроэнцефалограмм при наличии излучений мобильной связи и радиопоглощающих полиуретановых композитов / Биомедицинская электроника. № 12, 2013. С. 44.

13. Hedayati, M.K., Elbahri, M. Antireflective Coatings: Conventional Stacking Layers and Ultrathin Plasmonic Metasurfaces, A Mini-Review / Materials. No. 9, 2016. P. 496.
14. Qin, F., Brosseau, C. A review and analysis of microwave absorption in polymer composites filled with carbonaceous particles / J. Applied Physics. V. 111, 2012. P. 061301.
15. Lehman, J., Yung, C., Tomlin, N., Conklin, D., Stephens, M. Carbon nanotube-based black coatings / Applied Physics Reviews. V. 5, 2018. P. 011103.

### **Перечень лабораторных занятий**

1. Изучение методик формирования и характеристик композитных материалов на основе полиуретана и эпоксидных смол с добавкой многостеночных углеродных нанотрубок.
2. Изучение методик формирования и характеристик композитных материалов на основе эпоксидных смол с добавкой полиграфена и металлических микрочастиц.
3. Изучение методик формирования и характеристик блоков безэховых камер СВЧ-диапазона.
4. Моделирование процессов взаимодействия и ослабления потоков заряженных частиц (электронов, протонов, тяжелых высокоэнергетических ионов), падающих на однослойные материалы и многослойные структуры.
5. Регистрация и анализ спектров отражения, прохождения и поглощения СВЧ-излучения при взаимодействии с композитами антенным методом.
6. Регистрация и анализ спектров отражения, прохождения и поглощения СВЧ-излучения при взаимодействии с однослойными и многослойными экранами ЭМИ волноводным методом.

### **Выполнение лабораторных работ**

В лабораторном практикуме по дисциплине «Материалы и системы для защиты от корпускулярного и электромагнитного излучения» запланировано проведение натурных экспериментов на лабораторных установках при формировании композитных однослойных и многослойных материалов на основе полимеров с добавкой углеродных нанотрубок, графена и металлических наночастиц, по изучению физических процессов взаимодействия электромагнитных излучений (УФ-, видимого-, ИК- и СВЧ-излучений) с однослойными и многослойными материалами.

Задание по лабораторным работам для студентов заключается в подготовке отчета в письменном виде по выполненной работе. Контроль выполнения лабораторных работ будет осуществляться путем рассмотрения

отчета по каждой выполненной лабораторной работе. Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию, имя, отчество студента, номер группы.
2. Название работы.
3. Цель исследования.
4. Исходные данные и методику проведения лабораторной работы.
5. Обсуждение полученных результатов, оценки величин и зависимостей, выводы по работе.

Защита отчетов по лабораторной работе студентам будет проводиться в форме индивидуального собеседования.

### **Перечень используемых средств диагностики**

Для промежуточного контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенции студентов используются следующие формы:

- тестирование по разделам дисциплины;
- устный и письменный опросы по отдельным темам дисциплины;
- защита лабораторных работ.

### **Методика формирования итоговой оценки**

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление № 53 от 29.05.2012 г.)
2. Положение о рейтинговой системе БГУ (ред. 2015 г.).
3. Критерии оценки студентов (10 баллов).

### **Тестовые задания**

1. Какие методики формирования композитов используются для создания антиотражающих покрытий для ЭМИ УФ-, видимого- и ИК-диапазонов длин волн.
2. Какие методики формирования композитов и слоистых структур используются для создания антиотражающих покрытий терагерцевого и СВЧ-излучений.
3. Основные требования к характеристикам материалов и структур, обеспечивающих экранировку ЭМИ УФ-, видимого- и ИК-диапазонов.
4. Основные требования к характеристикам материалов и структур, обеспечивающих экранировку ЭМИ терагерцевого и СВЧ-диапазонов.
5. Что такое метаматериалы? Их роль в экранировке ЭМИ различных длин волн.
6. Особенности в радиационной повреждаемости наноструктурных и наноструктурированных материалов.
7. Факторы космической среды, негативно воздействующие на системы микро- и наноэлектроники.
8. Основные факторы воздействия ионизирующих излучений (ИИ) космического пространства на МОП-транзисторы и КМОП БИС.

9. Основные факторы воздействия ИИ космического пространства на субмикронные биполярные транзисторы и аналоговые биполярные интегральные схемы.
10. Физические явления в МОП-КНИ транзисторах в условиях воздействия ИИ.
11. Основные факторы воздействия высокоскоростных потоков микрочастиц космического пространства на интегральные микросхемы.
12. Каково влияние границ раздела в многослойных защитных структурах на проникающую способность микрочастиц.
13. Особенности поглощения и отражения ЭМИ многослойными материалами.
14. Каковы особенности технологии изготовления многослойных защитных материалов для корпусов интегральных микросхем.
15. Основные методы обеспечения радиационной стойкости интегральных микросхем.
16. Механизмы и последствия воздействия ЭМИ на живые организмы.
17. Средства защиты от ЭМИ персональных компьютеров.
18. Средства защиты от ЭМИ сотовых телефонов.
19. Основные физико-химические свойства углеродных нанотрубок и графена, определяющие их широкое применение при изготовлении композитов для защиты от ЭМИ.
20. Механизмы ослабления интенсивности СВЧ-излучения в композитных материалах на основе полимеров с углеродными наноматериалами.

#### **Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- работа с конспектом лекций, учебной и научной литературой, использование компьютерной техники и Интернета;
- подготовка к тестированию;
- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ;
- подготовка к зачету.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование | Название кафедры                                | Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) <sup>1</sup> |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Материалы микро- и наноэлектроники                            | Кафедра физической электроники и нанотехнологий | Нет                                                                                                           | Изменений не требуется<br>Пр. № 11<br>от 22.05.2018 г.                                                         |
| Надежность радиоэлектронных и информационных систем           | Кафедра физической электроники и нанотехнологий | Нет                                                                                                           | Изменений не требуется<br>Пр. № 11<br>от 22.05.2018 г.                                                         |

<sup>1</sup> При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО  
на \_\_\_\_/\_\_\_\_ учебный год

| №<br>п/п | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
|          |                        |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
физической электроники и нанотехнологий  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_

(И.О.Фамилия)