

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета В.А. Небольсин  
«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Испытание изделий на устойчивость к внешним воздействиям»**

**Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

**Профиль Компоненты микро- и наносистемной техники**

**Квалификация выпускника бакалавр**

**Нормативный период обучения 4 года**

**Форма обучения очная**

**Год начала подготовки 2018**

Автор программы  /Стогней О.В./

И.о. заведующего кафедрой  
Физики твердого тела  /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП  /Стогней О.В./

Воронеж 2021

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Формирование у студентов общих представлений о способах и методологии испытания устойчивости изделий электронной техники к внешним воздействиям.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

Качество и надёжность интегральных схем.

Основные виды, причины и механизмы отказов интегральных микросхем.

Методы контроля качества интегральных схем.

Испытания интегральных микросхем.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Испытание изделий на устойчивость к внешним воздействиям» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Испытание изделий на устойчивость к внешним воздействиям» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способен проводить испытание изделий «система в корпусе» на устойчивость к внешним воздействующим факторам

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>
ПК-2	Знать: критерии качества и надежности интегральных схем; основные виды, причины и механизмы отказов интегральных микросхем; методы контроля качества интегральных схем; методы испытаний ИС.
	Уметь: соотносить вид отказа ИС и возможную причину, приведшую к проявлению этого отказа.
	Владеть: методологией выбора способа испытаний ИС в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации и функционального назначения ИС.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Испытание изделий на устойчивость к внешним воздействиям» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	60	60
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ), в том числе в форме практической подготовки	24	24
<b>Самостоятельная работа</b>	48	48
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость академические часы	108	108
з.е.	3	3

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Основные критерии надежности интегральных схем	Критерии и количественные показатели надежности ИС.	4	2	8	14
2	Механизмы отказов интегральных схем	Структурные дефекты компонентов ИС. Механизмы внезапных отказов элементов ИС. Постепенные отказы элементов ИС. Отказы пассивных элементов ИС. Механизмы отказов МДП ИС.	14	8	16	38
3	Методы контроля качества интегральных схем	Отбраковочные испытания, как средство повышения надежности ИС. Электротренировка. Термотренировка. Электротермотренировка. Контроль функционирования микросхем.	8	4	10	22
		<i>практическая подготовка обучающихся</i>		3		3
4	Испытания интегральных схем на устойчивость к внешним воздействиям	Воздействие электростатических зарядов на ИС. Влияние радиации на ИС. Механические испытания ИС. Климатические испытания ИС.	10	4	14	28
		<i>практическая подготовка обучающихся</i>		3		3
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>108</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	Знать: критерии качества и надежности интегральных схем; основные виды, причины и механизмы отказов интегральных микросхем; методы контроля качества интегральных схем; методы испытаний ИС на надежность.	Посещение занятий, активная работа на лекциях и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: соотносить вид отказа ИС и возможную причину, приведшую к проявлению этого отказа.	Успешное прохождение тестов.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: методологией выбора способа испытаний ИС в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации и функционального назначения ИС.	Успешное написание коллоквиумов	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 8 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
-------------	---	---------------------	---------	------------

ПК-2	Знать: критерии качества и надежности интегральных схем; основные виды, причины и механизмы отказов интегральных микросхем; методы контроля качества интегральных схем; методы испытаний ИС на надежность.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь: соотносить вид отказа ИС и возможную причину, приведшую к проявлению этого отказа.	Коллоквиум	Более 3/4 правильных ответов в коллоквиуме	Менее 3/4 правильных ответов
	Владеть: методологией выбора способа испытаний ИС в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации и функционального назначения ИС.	Коллоквиум	Более 3/4 правильных ответов в коллоквиуме	Менее 3/4 правильных ответов

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Что понимается под надежностью ИС?
  - способность изделия выдерживать величину тока и напряжения, превышающую номинальное значение на 10%;
  - *способность сохранять свои характеристики (значения параметров) в заданных пределах и в заданных условиях эксплуатации;*
  - воспроизводимость параметров ИС, получаемых по абсолютно одинаковой технологии.
2. Что такое интенсивность отказов?
  - среднее время работы изделия до момента выхода его из строя;
  - *число отказавших изделий в единицу времени, отнесенное к числу изделий, непрерывно работающих;*
  - число отказов изделий в определённый интервал времени (10 лет).
3. Дефекты ИС, вызывающие катастрофический отказ могут быть двух типов, каких?
  - *без последующего восстановления и с возможностью последующего восстановления;*
  - динамические и статические;
  - упорядоченные и структурно-неупорядоченные.
4. Какой тип отказа происходит если дефектом ИС является разрыв металлизации в ИС?
  - *катастрофический;*
  - постепенный;
  - восстанавливаемый.
5. Какая причина отказа биполярных транзисторов считается наиболее опасной?
  - *пробой р-п переходов;*
  - электродиффузия кремния в алюминиевую проводящую дорожку;
  - размытие р-п перехода вследствие диффузии примеси при высоких рассеивающих мощностях.

6. К чему приводит кратковременная работа ИС при повышенных температурах и термоциклирование в том случае, когда выбранные температуры не выводят ИС из строя?

- ни к чему не приводит, это запрограммированный режим работы, поскольку всегда существует запас прочности;

- *такие режимы приводят к ускорению механизмов отказа и, следовательно, к фактической отбраковке изделий со скрытыми дефектами;*

- такие режимы приводят к стабилизации параметров ИС и, следовательно, к увеличению долговечности и повышению стабильности ИС.

7. Электротермотренировка проводится при:

- *максимально допустимом напряжении и максимально возможной температуре;*

- номинальном напряжении и максимально возможной температуре;

- максимально допустимом напряжении и комнатной температуре.

8. Какие группы скрытых дефектов возникают в ИС при воздействии электростатического разряда?

- *«проколы» окисла, дефекты металлизации, расплавление объемных участков кремния в контактных областях;*

- «проколы» окисла, размытие р-п переходов, разрыв металлизации;

- дефекты металлизации, инверсия типа проводимости в МДП каналах, размытие р-п переходов.

9. Какое воздействие на ИС приводит к нарушению кристаллической решётки и образованию разупорядоченных областей?

- термическое воздействие в процессе термотренировки;

- воздействие электростатического разряда;

- *радиационное воздействие.*

10. Какие повреждения ИС не приведшие к катастрофическому отказу можно восстановить?

- электростатические;

- *радиационные;*

- термические.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Рассчитать интенсивность отказов ИС при условии, что:

общее число изделий – 10000, промежуток времени – 365 дней, число ИС, отказавших к началу временного промежутка 100, число изделий, отказавших за один год – 70.

2. Рассчитать интенсивность отказов ИС при условии, что:

общее число изделий – 1000, промежуток времени – 60 дней, число ИС, отказавших к началу временного промежутка 150, число изделий, отказавших за один год – 2.

3. Рассчитать интенсивность отказов ИС при условии, что:

общее число изделий – 50000, промежуток времени – 10 лет, число ИС, отказавших к началу временного промежутка 10, число изделий, отказавших промежуток времени – 1500.

4. Определить величину интенсивности отказов за период наработки, при условии, что:

Количество ИС – 50, длительность испытаний (число циклов

термоциклирования) – 1200, число отказов – 3.

5. Определить величину интенсивности отказов за период наработки, при условии, что:

Количество ИС – 50, длительность испытаний (число циклов термоциклирования) – 700, число отказов – 2.

6. Определить величину интенсивности отказов за период наработки, при условии, что:

Количество ИС – 150, длительность испытаний (число циклов термоциклирования) – 400, число отказов – 9.

7. Определить величину интенсивности отказов за период наработки, при условии, что:

Количество ИС – 1000, длительность испытаний (число циклов термоциклирования) – 200, число отказов – 25.

8. Рассчитать интенсивность отказов ИС при условии, что:

общее число изделий – 100, промежуток времени – 50 дней, число ИС, отказавших к началу временного промежутка 5, число изделий, отказавших за исследуемый период – 1.

9. Рассчитать интенсивность отказов ИС при условии, что:

общее число изделий – 50, промежуток времени – 365 дней, число ИС, отказавших к началу временного промежутка 7, число изделий, отказавших за один год – 1.

10. Рассчитать интенсивность отказов ИС при условии, что:

общее число изделий – 50000, промежуток времени – 365 дней, число ИС, отказавших к началу временного промежутка 150, число изделий, отказавших промежуток времени – 10.

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Основные механизмы отказов ИС.
2. Зависимость интенсивности отказов ИС от времени.
3. Каким образом могут изменяться электрические параметры ИС при длительном эксплуатировании?
4. Описать механизмы внезапных и постепенных отказов.
5. Основные дефекты, возникающие в кремниевой подложке, на которой сформирована ИС.
6. Основные дефекты диэлектрических слоёв.
7. Механизмы внезапных отказов биполярных транзисторов.
8. Механизмы постепенных отказов биполярных транзисторов.
9. Отказы пассивных элементов ИС (резисторы, ёмкости, металлизация).
10. Механизмы внезапных отказов МДП транзисторов.
11. Механизмы постепенных отказов МДП транзисторов.
12. Электрическое старение тонких пленок  $\text{SiO}_2$ .
13. Отбраковочные испытания ИС.
14. Тренировка.
15. Электротренировка.
16. Электротермотренировка.
17. Воздействие электростатических зарядов на ИС.

18. Влияние радиации на ИС.
19. Отжиг радиационных повреждений ИС.
20. Климатические испытания ИС.
21. Механические испытания ИС.

### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет проводится в виде устного ответа по билетам, в которых содержится три вопроса.

1. Зачет считается сданным если студент ответил на два вопроса и дополнительные качественные вопросы.
2. Зачет считается НЕ сданным если студент смог ответить лишь на один вопрос и не отвечает на дополнительные качественные вопросы.
- 3.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные критерии надежности интегральных схем	ПК-2	Тест, коллоквиум, зачет
2	Механизмы отказов интегральных схем	ПК-2	Тест, коллоквиум, зачет
3	Методы контроля качества интегральных схем	ПК-2	Тест, коллоквиум, зачет
4	Испытания интегральных схем на устойчивость к внешним воздействиям	ПК-2	Тест, коллоквиум, зачет

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Коллоквиумы проводятся в виде письменных ответов на предложенные качественные вопросы. Обычно в одном коллоквиуме предлагается ответить на 15 – 19 вопросов. Время написания 45 мин, после чего коллоквиумы проверяются преподавателем. Оценка за коллоквиум выставления согласно методики оценки при проведении промежуточной аттестации. После проверки результатов и их анализа проводится обсуждение результатов коллоквиума с анализом неправильных ответов.

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 40 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором, выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации. После этого проводится обсуждение полученных результатов в режиме вопрос-ответ, с анализом неправильных ответов.

Решение стандартных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется

проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Горлов М.И. Физические основы надежности интегральных схем [Электронный ресурс] : учеб. пособие. - Электрон. текстовые дан. ( 4,56 Мбайт ). - Воронеж : ВГТУ, 2006. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - 30-00.

2. Борисенко А.С., Бавыкин Н.И. Технология и оборудование для производства микроэлектронных устройств – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с.

3. Нанотехнология и микромеханика: учеб. пособие. - Ч. 5: Надежность наноприборов и радиоэлектронных устройств на их основе / В.Д. Шашурин, Н.А. Ветрова, Ю.А. Иванов и др. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — 84. [ресурс издательства ЭБС IPR BOOKS <https://www.iprbookshop.ru/31466.html>]

4. Таперо К.И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения: основы радиационной стойкости изделий электронной техники: курс лекций. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. – 252 с. [ресурс издательства ЭБС IPR BOOKS <https://www.iprbookshop.ru/98100.html>]

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Электронная информационная образовательная среда ВГТУ, код доступа: <http://eios.vorstu.ru/>

**Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:**

Операционные системы семейства MSWindows;

Пакет программ семейства MS Office;

Пакет офисных программ OpenOffice;

Программа просмотра файлов Djview;

Программа просмотра файлов формата pdf AcrobatReader;

Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome.

**Используемые электронные библиотечные системы:**

Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL», код доступа:

<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;

Университетская библиотека онлайн, код доступа: <http://biblioclub.ru/>;

ЭБС Издательства «ЛАНЬ», код доступа <http://e.lanbook.com/>;

ЭБС IPRbooks, код доступа: <http://www.iprbookshop.ru>;

научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа:  
<http://elibrary.ru/>.

**Информационные справочные системы:**

портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, код доступа <http://fgosvo.ru>;

единое окно доступа к образовательным ресурсам, код доступа  
<http://window.edu.ru/>;

открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ, код доступа  
<http://online.mephi.ru/>;

открытое образование, код доступа: <https://openedu.ru/>;

физический информационный портал, код доступа:  
<http://phys-portal.ru/index.html>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Для проведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оснащенная доской, проектором, экраном для демонстрации слайдов.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Испытание изделий на устойчивость к внешним воздействиям» читаются лекции, проводятся практические занятия, проводится самостоятельная работа студентов.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе, а также проведение блиц-опроса по предыдущему материалу.

Практические занятия направлены на более глубокое освоение материала, изложенного на лекциях. Занятия проводятся в режиме диалога и обсуждения наиболее сложных вопросов в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если

	самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.