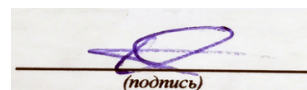


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра микроэлектроники и общей физики

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан физического факультета



(подпись)

И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Современные методы неразрушающего контроля»**

Направление подготовки  
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль  
«Интегральная электроника и нанoeлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от « 25 » апреля 2023года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины «Современные методы неразрушающего контроля»

Описать физические основы неразрушающего контроля (НК) качества материалов и изделий, познакомить с методами определения их свойств и параметров. Сформулировать основные задачи в области НК. Дать математический аппарат и программные средства для оценки эффективности измерительных устройств и приборов НК. Продемонстрировать в лабораторном опыте заявленные технические и аналитические возможности НК.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Современные методы неразрушающего контроля» является обязательной в разделе дисциплин ОП, формируемом участниками образовательных отношений. Рассматривая ряд методов НК, она даёт представление об их возможностях и ограничениях. Развивает аналитические способности учащихся, сообщает им навыки решения расчетных и экспериментальных задач в данной предметной области.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных студентами при изучении общего курса физики и навыках, приобретённых в общем физическом практикуме. Для её освоения требуется математическая подготовка по предметам: «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Методы математической физики».

При изучении данной дисциплины могут быть полезны отдельные разделы таких специальных предметов, изучавшихся в бакалавриате, как «Метрология, стандартизация и технические измерения», «Теоретические основы электротехники», «Основы электронной техники», «Материалы электронной техники», «Физическое материаловедение в электронике и нанoeлектронике», «Введение в физику магнитных явлений», «Магнитные измерения», «Основы теплофизики», «Диагностика вакуума и плазмы», «Физические основы электроники», «Электроника в физическом эксперименте», «Экспериментальные методы прикладной физики», «Схемотехника».

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-4</b> Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов.	<b>ИД_ПК-4.1</b> Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований.	<b>Знает:</b> – природу физических явлений, используемых в основе методов НК; – области применения, погрешности и ограничения методов НК; – физические принципы автоматизации средств неразрушающего контроля.

	<b>ИД_ПК-4.2</b> Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования.	<b>Умеет:</b> – планировать и осуществлять выбор физического метода НК; – создавать измерительные схемы для реализации конкретной методики; – проводить тестирование приборов НК и серийные экспериментальные исследования.
	<b>ИД_ПК-4.3</b> Демонстрирует навыки проведения исследований с применением современных средств и методов.	<b>Владеет навыками:</b> – работы с современной электронной аппаратурой, применяемой для НК; – математического анализа эффективности методов контроля; – применения специальных компьютерных пакетов обработки опытных данных.

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часов, 2 зачетных единицы.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости. Форма промежуточной аттестации
			Контактная работа						
			Лекции	Практические	Лабораторные	Консультации	Аттестационные испытания	Самостоятельная работа	
1	Введение в предмет	3	1					1	
2	Обзор физические методов НК	3	2	2		1		9	
3	Общие вопросы НК	3	1					3	Коллоквиум
4	Анализ эффективности измерительного устройства	3	2	2		1		4	
5	Возможности электро-магнитных методов НК	3	4	6		1		9	Лабораторное задание
6	Применение математических методов	3	4	4		1		5	Обсуждение его результатов
7	Некоторые вопросы автоматизации НК	3	2	2				4,7	Собеседование
							0,3		Зачёт
	Всего		16	16		4	0,3	35,7	

## Содержание разделов дисциплины:

1. Введение в предмет. Общая характеристика средств неразрушающего контроля (НК). Их стандартизация и унификация. Физические основы методов НК.

2. Обзор физические методов НК. Радиационные методы (радиография и радиоскопия). Акустические методы (акустическая микроскопия). Электрические, магнитные и вихретоковые (индуктивные) методы. Радиоволновые и оптические методы. Тепловые методы и средства капиллярного контроля.

3. Общие вопросы НК. Классификация методов НК по способам воздействия и способам измерения. Измерительные устройства (датчики), как первичные преобразователи аналоговой информации. Функциональная характеристика измерительного устройства (ИУ). Прямая и обратная задача НК.

4. Анализ эффективности измерительного устройства. Чувствительность ИУ к параметрам объекта контроля (дифференциальная). Отстройка от влияния мешающих факторов. Исследование чувствительности ИУ с помощью аналитических выражений, численных моделей, эмпирически. Диаграмма изолиний информативных параметров как функций контролируемых (двухпараметровый контроль). Матрица чувствительностей и её нормированный детерминант  $\Omega_n$  как показатели эффективности ИУ.

5. Возможности электромагнитных методов НК. Электропотенциальный метод контроля поверхностного слоя на постоянном токе. Магнитный квазистатический контроль ферромагнитного слоя. Вихретоковый (индуктивный) контроль изделий проходными и накладными датчиками. Оптимизация конструкции преобразователей.

6. Применение математических методов, интегрированных компьютерных систем (MathCAD) и моделирования (QField) для решения задач НК. Разработка и реализация конкретного ИУ для электропотенциального контроля поверхностного слоя или ИУ для индуктивного контроля ферромагнитных лент и слоёв на неферромагнитном основании.

7. Некоторые вопросы автоматизации НК. Понижение уровня шумов за счёт синхронного накопления полезных сигналов в цифровом осциллографе. Применение модулей АЦП – ЦАП.

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Учебный процесс сочетает лекционные и практические занятия, которые выполняются с использованием интегрированной программной системы MathCAD и экспериментальных установок (приборов НК). На лекционных занятиях отслеживается ведение конспектов лекций. Ведётся учёт выданных заданий, контроль посещаемости. Зачёт проставляется по совокупности выполненных заданий и ответов на вопросы в ходе собеседования по предмету.

Учитывая сравнительно небольшое количество лекционных часов, значительная часть теоретического материала выносится на самостоятельное изучение по приведённому ниже списку литературы. Упор делается на практическую составляющую предмета, которая имеет аналитико-расчетный и экспериментально-измерительный характер.

## **6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем**

Информация по содержанию предмета выкладывается на платформе Moodle ЯрГУ в 3-м семестре в соответствующем курсе. Там в виде файлов должны быть выложены описания расчётных и экспериментальных работ, научные статьи и другие материалы по темам предмета, открыта папка для сдачи отчётов по выполненным заданиям. Платформа Moodle используется в качестве доски объявлений и как организующее начало в учебном

процессе. При дистанционном обучении лекции ведутся в Zoom`е, обсуждение и сдача выданных заданий в Скайпе.

Из других технических средств в учебном процессе используются:

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" [http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_cat_find.php);
- для формирования текстов материалов для промежуточной и конечной аттестации – программы Microsoft Office;
- для обработки данных измерений *MathCAD 2001 portable*.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Неразрушающий контроль : в 5 кн. / под ред. В. В. Сухорукова. - Москва : Высшая школа, 1992. - 20 см. Кн. 1: Общие вопросы. Контроль проникающими веществами / А. К. Гурвич, И. Н. Ермолов, С. Г. Сажин. - 1992. - 241 с.  
<https://search.rsl.ru/ru/record/01001641705>
2. Зацепин, А. Ф. Акустические измерения : учебное пособие для вузов / А. Ф. Зацепин ; под ред. В. Е. Щербинина. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 209 с.  
<http://www.biblio-online.ru/book/8CC0BD35-6DDE-473F-9A0A-74BC7EF9DF20>
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. - Москва : Т. 5. В 2 кн. Кн.1. Тепловой контроль./ В.П. Вавилов. Кн.2. Электрический контроль./ К.В. Подмастерьев и др. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.  
<https://cloud.mail.ru/public/2ccS/5veHi6tSd>
4. Неразрушающий контроль: В 5 кн. / под ред. В. В. Сухорукова. - Москва : Высшая школа, 1992. - 20 см. Кн. 3: Электромагнитный контроль / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков. - 1992. – 308 с.  
<https://search.rsl.ru/ru/record/01001637727>.
5. Неразрушающий контроль: В 5 кн. / под ред. В. В. Сухорукова. - Москва : Высшая школа, 1992. - 20 см. Кн. 5: Интроскопия и автоматизация контроля / В. В. Сухоруков, Э. И. Вайнберг, Р.-Й. Ю. Кажис, А. А. Абакумов. - 1993. – 328 с.  
<https://search.rsl.ru/ru/record/01001666969>
6. Митрофанов В.А. Аналитические методы неразрушающего контроля: Учеб. пособие / Яросл. гос. ун-т. Ярославль, 2002. 64 с.  
<http://www.lib.uniyl.ac.ru/edocs/iuni/20020780.pdf>.

### **б) дополнительная литература:**

1. Зацепин, А. Ф. Методы и средства измерений и контроля: дефектоскопы : учебное пособие для вузов / А. Ф. Зацепин, Д. Ю. Бирюков ; под науч. ред. В. Н. Костина. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 120 с.  
<http://www.biblio-online.ru/book/F1FA0C51-6460-42FA-8C8C-BC28A0358B1C>
2. Неразрушающий контроль : в 5 кн.]/ под ред. В. В. Сухорукова. - Москва : Высшая школа, 1992. - 20 см. Кн. 2: Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. - 1991. - 287 с.

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

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает:

- учебную аудиторию для проведения занятий лекционного типа;
- лабораторию автоматизации физического эксперимента, где имеются установки для проведения неразрушающего контроля металлических и полупроводниковых образцов.

Автор: доцент кафедры микроэлектроники  
и общей физики, канд.физ.-мат.наук

В.А. Митрофанов

**Приложение №1**

**к рабочей программе дисциплины  
«Современные методы неразрушающего контроля»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе  
текущего контроля успеваемости**

При подготовке к коллоквиуму используются издания по списку основной и дополнительной литературы. Вопросы по различным физическим основам методов НК, их применению и ограничениям содержатся в книгах [1 – 5] списка а) основной литературы.

**Вопросы коллоквиума**

1. Классификация неразрушающих методов контроля.
2. Радиационные методы (радиография и радиоскопия).
3. Акустические методы (акустическая микроскопия).
4. Электрические методы и приборы НК.
5. Магнитные методы и приборы НК.
6. Вихревые (индуктивные) методы и средства контроля.
7. Радиоволновые методы и средства контроля.
8. Оптическая структуро- и дефектоскопия.
9. Тепловые методы и средства контроля.
10. Средства капиллярного контроля.
11. Комплексные системы контроля качества.

В ходе ответов на приведённые вопросы проверяется сформированность компетенции ПК-4 по индикатору ИД\_ПК-4.1 в расшифровке автора программы «**Знает** природу физических явлений, используемых в основе методов НК, области применения, погрешности и ограничения методов НК, физические принципы автоматизации средств неразрушающего контроля».

**2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной  
и окончательной аттестации**

При обсуждении результатов выполнения лабораторного задания проверяется сформированность компетенции ПК-4 по индикатору ИД\_ПК-4.2 в расшифровке автора программы «**Умеет** планировать и осуществлять выбор физического метода НК, создавать измерительные схемы для реализации конкретной методики, проводить тестирование приборов НК и серийные экспериментальные исследования».

На зачете, который проводится как собеседование, проверяется сформированность компетенции ПК-4 по индикатору ИД\_ПК-4.3 в расшифровке автора программы «**Владеет навыками** работы с современной электронной аппаратурой, применяемой для НК, математического анализа эффективности методов контроля, применения специальных компьютерных пакетов обработки опытных данных».

**к рабочей программе дисциплины  
«Современные методы неразрушающего контроля»**

**Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины «Современные методы неразрушающего контроля» происходит в равной мере на лекционных и практических занятиях. А закрепление знаний осуществляется на коллоквиуме и при совместном обсуждении результатов выполнения лабораторного и расчётного заданий.

Важно понимать, как происходит разработка и реализация выбранного метода НК: от идеи применения конкретного физического процесса взаимодействия датчика с объектом контроля к его конструированию и оптимизации условий контроля. При этом задействуется математический аппарат и программные средства для расчёта ожидаемого эффекта по аналитическим формулам или компьютерное моделирование, подбираются структурные элементы первичных (аналоговых) преобразователей, соответствующие измерительные приборы. Решаются вопросы автоматизации процесса контроля.

Результаты испытаний (тестирования датчиков) сравниваются с расчётами, выполненными на персональном компьютере для соответствующих моделей при помощи эффективных пакетов программ, таких как MathCAD, QField или других доступных продуктов.

**Подготовка к зачёту**

При подготовке к зачёту следует заранее подобрать хорошие учебники. Просматривая материал по изучаемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться или запросить помощь товарищей, преподавателя.

В данный период времени важна самодисциплина. Следует сократить внеучебные дела, соблюдать режим дня: сон не менее 8 часов в сутки, занятия заканчивать не позднее, чем за 1-2 часа до сна, вовремя и хорошо питаться. Оптимальное время занятий - утренние и дневные часы. В перерывах между занятиями рекомендуются прогулки на свежем воздухе, физкультурные упражнения.