

Министерство образования Республики Беларусь  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.9.048.7: 620.9:001.891.54: 620.22  
№ госрегистрации 20170392  
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
\_\_\_\_\_ И.В.Бурая  
«22» декабря 2021 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА  
(заключительный)

Начальник ОСНИ

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Т.В.Гончарова

Руководитель НИР,  
заведующий кафедрой  
энергетики и электроники,  
канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Д.А. Довгяло

Новополоцк, 2021 г.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР, заведующий  
кафедрой энергетики и  
электроники, канд. техн. наук,  
доцент

Д.А. Довгяло

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(введение, раздел 1, 2, заключение)

Исполнители:

канд. техн. наук, доцент

В.Ф. Янушкевич

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 3, 4, 5)

канд. техн. наук, доцент

В.Е. Питолин

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 6)

канд. техн. наук, доцент

А.С. Вершинин

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 7)

канд. техн. наук, доцент

Т.В. Молодечкина

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 8)

канд. техн. наук, доцент

А.Л. Адамович

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 9)

канд. техн. наук, доцент

Ю.Г. Грозберг

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 2)

старший преподаватель

Т.А. Алексеева

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 3)

старший преподаватель

С.Н. Абраменко

\_\_\_\_\_

подпись, дата

(раздел 2)

Нормоконтроль

Л.В. Ищенко

\_\_\_\_\_

подпись, дата

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Дефектоскопирование железнодорожных рельсов методами неразрушающего контроля	8
1.1 Классификация дефектов рельсов.....	11
1.2 Классификация и выбор методов акустического (ультразвукового) контроля.....	14
1.3 Оборудование и режимы контроля.....	22
2 Понятие комплексного анализа дефектограмм сплошного контроля и контроль образцов рельсов .....	29
2.1 Комплексный анализ дефектных сечений.....	29
2.2 Контроль образцов рельсов ультразвуковыми дефектоскопами.....	30
2.3 Выводы по результатам проведенного исследования.....	51
3 Моделирование параметров оптического канала передачи видеосигналов на поднесущих частотах .....	55
3.1 Использование поднесущих частот для передачи видеосигналов в волоконно-оптических линиях связи .....	56
3.2 Модуляция и демодуляция оптического излучения .....	60
3.3 Выводы .....	62
4 Исследование ЧМ модулятора и демодулятора .....	64
4.1 Обоснование выбора программного обеспечения для моделирования характеристик частотного модулятора и демодулятора .....	64
4.2 Исследование характеристик частотного модулятора .....	66
4.3 Исследование ЧМ демодулятора .....	71
4.4 Выводы .....	73
5 Исследование оптического генератора .....	74
5.1 Моделирование оптического генератора в программном пакете Multisim 12 .....	74
5.2 Исследование линейности амплитудных характеристик оптического генератора ...	75
5.3 Выводы .....	76
6 Разработка методики ручной настройки ПИД-регулятора и ввод в учебный процесс в качестве лабораторной работы по дисциплине «Автоматика и автоматическое регулирование технологических процессов» .....	77
6.1 Структурная схема ПИД-регулятора, ПИД-закон регулирования и общие принципы построения ПИД-закона регулирования .....	77
6.2 Экспериментальная установка .....	80

6.3 Описание эмулятора печи (ЭП-10) .....	83
6.4 Проведение испытаний .....	84
7 Повышение эффективности прямого преобразования механической энергии в тепловую .....	87
7.1 Сравнительный анализ известных способов построения преобразователей прямого преобразования механической энергии в тепловую .....	87
7.2 Цель проведения исследований, выбор типа преобразователя и обоснование способа повышения эффективности прямого преобразования механической энергии в тепловую ..	93
7.3 Оценка степени увеличения магнитных потоков в магнитных цепях с постоянной намагничивающей силой при уменьшении воздушных зазоров .....	94
7.4 Устройство для прямого преобразования механической энергии в тепловую с воздушным теплообменом .....	102
8 Модификация поглощающих свойств материалов, использующихся при герметизации электронных блоков .....	104
8.1 Исследование удельного электрического сопротивления .....	104
8.2 Исследование электрической прочности композитов .....	106
8.3 Исследование экранирующих характеристик композитов .....	107
8.4 Измерение диэлектрической проницаемости образцов .....	107
9 Виртуальные лабораторные работы по дисциплине «Электротехника и электрооборудование» .....	109
9.1 Лабораторная работа «Измерения» .....	111
9.2 Лабораторная работа «Несимметричная нагрузка» .....	112
9.3 Лабораторная работа «Однофазная нагрузка» .....	112
9.4 Лабораторная работа «Трёхфазная нагрузка» .....	113
9.5 Лабораторная работа «Трансформатор» .....	114
9.6 Лабораторная работа «Асинхронный двигатель» .....	115
9.7 Лабораторная работа «Автоматический выключатель» .....	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	123

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### К разделам 1, 2

- 1 Методы проведения неразрушающего контроля [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.devicesearch.ru/article/metody\\_nerazrushayuschego\\_kontrolya](http://www.devicesearch.ru/article/metody_nerazrushayuschego_kontrolya)
- 2 Марков, А. А. Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов/ А.А. Марков, Е.А. Кузнецова. – Санкт – Петербург: Ультрапринт, 2014. – 332 с.
- 3 Hesse D. Rail inspection using ultrasonic surface waves/ D. Hesse. – London: University of London. 2007 – 178 p.
- 4 Александрова, С. Б. Ультразвуковая дефектоскопия: учебно – методический комплекс/ С.Б. Александрова. – Барановичи: ДЦППК-2, 2008. – 205 с.
- 5 Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Порядок декларирования соответствия продукции. Основные положения: НТД/ЦП 1-2-3-93 Классификация дефектов рельсов. Каталог дефектов рельсов. Признаки дефектных и остродефектных рельсов.
- 6 Анисимова, Г. В. Ультразвуковой контроль объектов железнодорожного транспорта/ Г.В. Анисимова. – Санкт-Петербург: Типография ПГУПС, 2012. – 243 с.
- 7 Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Порядок декларирования соответствия продукции. Основные положения: Дефектоскоп ультразвуковой ДС2-РДМ-22. Руководство по эксплуатации.
- 8 Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Порядок декларирования соответствия продукции. Основные положения: Дефектоскоп ультразвуковой ДС2-РДМ-22. Руководство по обслуживанию и ремонту.
- 9 Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Порядок декларирования соответствия продукции. Основные положения: Дефектоскоп ультразвуковой УДС2-РДМ-33. Руководство по эксплуатации.
- 10 Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Порядок декларирования соответствия продукции. Основные положения: Дефектоскоп ультразвуковой УДС2-РДМ-33. Руководство по обслуживанию и ремонту.
- 11 A. Shliakhtsiouak, D. Dovgyalo Comprehensive Analysis Of Signals In The Process Of Ultrasonic Flaw Detection /A. Shliakhtsiouak, D. Dovgyalo//European and national dimension in researchNovopolotsk, April 27-28, 2017: In 3 Parts- Part 3 Technology – Novopolotsk, PSU, 2017, pp. 361-364.
- 12 Шляхтёнок А.В., Довгяло Д.А. Комплексный анализ сигналов в процессе ультразвуковой дефектоскопии / А.В. Шляхтенко//Сборник материалов XII Международной научной конференции студентов и молодых учёных "Наука и образование - 2017" — Астана, ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва, 2016. – с. 515-519.

13 Шляхтёнок А.В. Особенности и принципы выявления дефектов головки железнодорожного рельса/ А.В. Шляхтёнок Д.А. Довгяло// Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета №11, 2016. - 135-139 с.

14 Шляхтёнок А.В. Совершенствование методов ультразвукового контроля/ А.В. Шляхтёнок, Д.А. Довгяло// Вестник ПГУ №12, 2017. – 35-41 с.

15 Зацепин, Н. Н. Неразрушающий контроль/ Н.Н. Зацепин. – Минск: Наука и техника, 1979. – 230 с.

16 Довгяло, Д. А. Типовые компоненты и датчики контрольно - диагностических средств/ Д.А. Довгяло. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – 384 с.

17 Марков, А. А. Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов/ А.А. Марков, Е.А. Кузнецова. – Санкт – Петербург: Ультрапринт, 2014. – 332 с.

18 Шляхтенко А. В. Эхо-метод ультразвуковой дефектоскопии рельсов / А.В. Шляхтенко, Д.А. Довгяло // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета №10, 2015. - 117-120 с.

19 Методы проведения неразрушающего контроля [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.devicesearch.ru/article/metody\\_nerazrushayuschego\\_kontrolya](http://www.devicesearch.ru/article/metody_nerazrushayuschego_kontrolya)

20 Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие/ И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. - Владивосток: ДВГТУ, 2007. – 365 с.

21 A. Shliakhtsiouak, D. Dovgyalo Ultrasonic flaw detection / A. Shliakhtsiouak, D. Dovgyalo// European and national dimension in research Novopolotsk, April 26-27, 2016: In 3 Parts- Part 3 Technology – Novopolotsk, PSU, 2016, pp. 148-151.

22 Довгяло Д.А., Шляхтёнок А.В., "Особенности и принципы выявления дефектов головки железнодорожного рельса," Электронный сборник "Труды молодых специалистов ПГУ", Выпуск 15 (85), Oct. 2016. — с. 150.

### **К разделам 3, 4, 5**

1 Янушкевич, В.Ф. Методическое пособие по курсу «Устройства оптической обработки сигналов» для студентов спец. 39.01.01/ В.Ф. Янушкевич.– Новополоцк, ПГУ, 2004.

2 Щербак, Ю.М. Устройства оптической обработки сигналов/ Ю.М. Щербак.–Минск, БГУИР, 1997.

3 Оптическая обработка радиосигналов в реальном времени/ Под ред. С.В. Кулакова. М. : Радио и Связь, 1989.

4 Мустель, Е.Р. Методы модуляции и сканирования света/ Е.Р. Мустель, В.К. Парыгин. – М.: Наука, 1970.

5 Гауэр, Дж. Оптические линии и связи. Пер. с англ./Под ред. А.И. Ларкина. – М.: Радио и связь, 1989.

- 6 Конойко, А.И. Основы строения устройств оптической обработки сигналов. Учебно-методическое пособие по курсу «УООС»/ А.И. Конойко, С.А.Рыбаков, М.П.Федоринчик. – Мн.: 2002.
- 7 Удовикин, В.Л. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей/ В.Л.Удовикин.- ТГТУ, 2013.
- 8 Свет, В.Д. Оптические методы обработки сигналов/В.Д. Свет – М: Энергия,1971.
- 9 Кондратенков, Г.С. Обработка информации когерентными оптическими системами/ Г.С. Кондратенков. – М.Сов. радио,1972.
- 10 Престон, К. Когерентные оптические вычислительные машины/К.Престон .– М. Мир,1974.
- 11 Кейсесента, Д. Оптическая обработка информации / Под ред. Д.Кейсесента. –М.: Мир,1980.
- 12 Парыгин, В.Н. Оптическая обработка информации/ В.Н. Парыгин, В.И. Балакший. –М. : МГУ,1987.
- 13 Верещагин, И.К. Введение в оптоэлектронику/ И.К. Верещагин, Л.А.Косяченко, С.М. Кокин. М.-: Высшая школа,1991.
- 14 Алишев, Я.В. Лазерные многоканальные системы космической связи/ Я.В.Алишев, В.Ф.Юрьев, В.Е. Ямайкин. – Минск, МРТИ,1983.
- 15 Алишев, Я.В. Многоканальные системы передачи оптического диапазона/ Я.В. Алишев.– Минск, Высшая школа,1986.
- 16 Коршунов, В.И.Оптические кабели связи/ В.И.Коршунов, В.В.Шитов, Т.Н.Моряков.–М.: Связь,1986.
- 17 Борн, М. Основы оптики: пер. с англ./ М. Борн, Э.Вольф. Под ред. Г.П. Мотулевич. – М.: Наука, 1970.
- 18 Лондсберг, Г.С. Оптика/ Г.С. Лондсберг. – М.: Наука, 1976.
- 19 Янушкевич, В.Ф. Методические указания к лабораторным работам по курсу «УООС» для студентов спец. Т.09.01.00/ В.Ф. Янушкевич. –Новополоцк, ПГУ, 2002.
- 20 Ходжамурадов, Б.А. Методы модуляции видеосигналов с использованием поднесущих частот / Б.А. Ходжамурадов, В.Ф. Янушкевич// Вестник ПГУ. Информационные технологии-2016. – №4. – С. 55-60.

#### к разделу 7

- 1 Пат. РФ 2612237, МПК F03D 9/22, F24J 3/00. Оппозитный ветротеплогенератор / Серов А.Ф., Мамонов В.Н., Терехов В.И., Назаров А.Д.; заявитель и патентообладатель ИТ СО РАН. № 2015150585; заявл. 25.11.2015; опубл. 03.03.2017, Бюл. № 7.

2 В.Н. Мамонов, Н.Б. Миськив, А.Д. Назаров, А.Ф. Серов, В.И. Терехов. Генерация тепла в мультицилиндровой системе Куэтта-Тэйлора // Теплофизика и аэромеханика. 2019. Т. 26, №5. С. 729-739.

3 Пат. РФ 2656515, МПК F03D 3/00, F24J 3/00. Вихревой ветротеплогенератор / Седых Н. А.; опубл. 05.06.2018, Бюл. № 16.

4 Пат. РФ 2097946, МПК H05B 6/10. Устройство для преобразования механической энергии в тепловую / Елшин А.И., Казанский В.М., Карманов Е.Д., Михеев В.И.; опубл. 27.11.1997, Бюл. № 21.

5 Пат. РФ 2244223 C1, МПК F 24 J 3/00. Фрикционный нагреватель / Гой В.Л.; опубл. 10.01.2005, Бюл. № 1.

6 А.с. СССР № 1627790, МПК F 24 J 3/00. Ветровой фрикционный теплогенератор / Бирюлин И.Б., Ветрова А.А., Васильева Д.Д., Шабалин А.А.; Опубл. 14.08.1991, Бюл. № 19.

7 Сидоров И.Н., Скорняков С.В. Трансформаторы бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. - М: "Радио и Связь", 1999. - 336 с.

8 Электротехника и электроника. Электрические и магнитные цепи: Учебное пособие / Р.В. Ахмадеев, И.В. Вавилова, П.А. Грахов, Т.М. Крымская; Под ред. Т.М. Крымской; Уфимск. госуд. авиац. техн. ун-т; - Уфа, 2009. - 147 с.

## К разделу 8

1 Материалы будущего и их удивительные свойства / А. Г. Братухин, О. С. Сироткин, П. Ф. Сабодаж, В. Н. Егоров. – М.: Машиностроение, 1995. – 127 с. 116.

2 Композиционные материалы / Под ред. А.И. Монохина. – М.: Наука, 1981.- 292 с.

3 Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.

4 Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.

5 Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: уч. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб: Профессия, 2008 – 560 с.

6. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб: Научные основы и технологии, 2008 – 822 с.

7 Принципы создания композиционных полимерных материалов / Ал.Ал. Берлин и др. – М.: Химия, 1990. – 240 с.

8 Барашков Н.Н. Полимерные композиты: получение, свойства, применение. – М.: Наука, 1984. – 128 с.



9 Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочник / Под ред. Д.В. Милевски, Г.С. Каца; Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 736 с.

10 <https://kraska.guru/germetiki/brendy/akriloviy.html>

11 <https://stroy-podskazka.ru/germetiki/siliconovuj>

12 <https://www.skb-077.ru>

13 Сорокин В.С, Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики: Учебник.-Т. 1.- 2-е издание., испр.- СПб.: Издательство «Лань», 2015.- 448с.: ил.

14 ГОСТ 6433.2-71. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрического сопротивления при постоянном напряжении.

15 Серебряков, А. С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: учебное пособие / А. С. Серебряков. - Москва: Маршрут, 2005. - 280 с.

16 Гормаков А. Н. Материаловедение: Учебно-методическое пособие / А. Н. Гормаков; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 120 с

17 ГОСТ 6433.3-71. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении.

18 ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до  $5 \cdot 10^6$  Гц.

## К разделу 9

1 Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб.: Корона-Век, 2008.-368с

2 Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 3-е изд. ДМК Пресс, 2008.- 800 с.

3 Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И.. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – Москва: ДМК Пресс, 2007, 400 с.

4 Суранов А.Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.