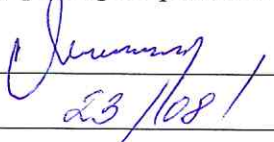


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ»
(КНИТУ – КАИ)

СОГЛАСОВАНО:

Директор Передовой инженерной школы

 Шабалин Л.П.
23/08/2024 г.

УТВЕРЖДЕНО:

И.о. директора Корпоративного
института

 Никитина Т.С.
24/08/2024 г.



ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Технологии радиофотоники в задачах проектирования перспективных
радиотехнических систем. Расширенный курс»

1. Основные характеристики программы

Соответствие профессиональным стандартам	Программа составлена с учетом профстандартов 06.048 Инженер-радиоэлектронщик в области радиотехники и телекоммуникаций; 06.018 Инженер связи (телекоммуникаций), утвержденного приказом Минтруда №866н от 31.12.2014.
Соответствие квалификационным требованиям	Программа составлена с учетом приказа Минздравсоцразвития РФ от 11.01.2011 №1н «Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих», раздел «Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов высшего профессионального и дополнительного профессионального образования»
Категория слушателей	инженерно-технические работники
Срок обучения	10 недель (117 часов).
Форма обучения	очная с применением дистанционных образовательных технологий

Программа дополнительного профессионального образования разработана и реализуется в рамках федерального проекта «Передовые инженерные школы. Комплексная авиационная инженерия».

2. Цель реализации программы:

Целью программы является формирование у слушателей теоретических знаний и практических навыков в области, связанной с применением радиофотонных технологий для разработки перспективных радиотехнических систем.

3. Требования к результатам обучения

Слушатель, освоивший программу, должен:

3.1. Знать:

- основные преимущества и ограничения технологий радиофотоники в задачах построения перспективных радиотехнических систем;
- типовые свойства и ограничения основной оптико-электронной элементной базы, применяемой в устройствах радиофотоники;
- состав, назначение структурных элементов и основные свойства радиофотонных узлов, как ключевых элементов устройств синтеза и обработки сигналов и информационно-измерительной технике

3.2. Уметь:

- осуществлять подбор оптико-электронной элементной базы для реализации радиофотонных узлов с заданными свойствами;

- осуществлять проектирование (на уровне функциональных и структурных схем) схемотехнического решения радиофотонного устройства, обеспечивающего свойства, заданные техническим заданием.

3.3. Владеть:

- навыками моделирования простейших радиофотонных узлов в специализированных САПР
- навыками измерения основных характеристик радиофотонных узлов (в СВЧ и оптическом диапазонах) с использованием современной контрольно-измерительной аппаратуры.

4. Содержание программы

Календарный учебный график

Образовательный процесс по программе может осуществляться в течение всего календарного года.

Форма обучения	Часов в неделю	Общая продолжительность программы (недель)
очная с применением дистанционных образовательных технологий	12	10

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

программы повышения квалификации

«Технологии радиофотоники в задачах проектирования перспективных радиотехнических систем. Расширенный курс»

№	Наименование разделов, дисциплин и тем	Всего часов	В том числе		
			Лекции	Лабораторные занятия	Форма контроля
1	2	3	4	5	7
1.	Модуль 1 «Введение в фотонику»	7	6	-	1
	Тема 1. Радиофотоника как наука	2	2	-	
	Тема 2. Базовые принципы построения радиофотонных систем	2	2	-	
	Тема 3. Применение технологий радиофотоники в задачах синтеза и обработки сигналов и в информационно-измерительной технике	2	2	-	
	Текущий контроль по модулю 1	1	-	-	1
2.	Модуль 2 «Элементная база фотонных систем»	77	36	40	1

	Тема 1. Источники и приемники оптического излучения	18	10	8	
	Тема 2. Модуляция оптического излучения	24	8	16	
	Тема 3. Оптическое волокно	22	10	12	
	Тема 4. Пассивные оптические компоненты.	12	8	4	
	Текущий контроль по модулю 2	1	-	-	1
3.	Модуль 3 «Моделирование радиофотонных систем»	21	4	16	1
	Тема 1. Общие принципы работы в САПР для моделирования фотонных систем	2	2	-	-
	Тема 2. Моделирование простейших фотонных схем и компонентов	2	2	-	-
	Тема 3. Моделирование радиофотонных функциональных устройств	16	-	16	-
	Текущий контроль по модулю 3	1	-	-	1
4.	Модуль 4 «Фотонные интегральные схемы»	11	2	8	1
	Тема 1. Базовые понятия об интегральной фотонике	2	2	-	
	Тема 2. Моделирование простейших ФИС	8	-	8	
	Текущий контроль по модулю 4	1	-	-	1
	Итоговая аттестация	1	-	-	1
	Итого	117	48	64	5

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

повышения квалификации

«Технологии радиофотоники в задачах проектирования перспективных радиотехнических систем. Расширенный курс»

Модуль 1. Введение в фотонику (7 ч.)

1. Радиофотоника как наука.

Понятие радиофотоники, преимущества и ограничения радиофотонных систем, ведущие отечественные и зарубежные научные школы.

2. Базовые принципы построения радиофотонных систем.

Радиофотонные тракты с внешней и непосредственной модуляцией, преимущества и ограничения.

3. Применение технологий радиофотоники в задачах синтеза и обработки сигналов и в информационно-измерительной технике.

Радиофотонные подходы для построения систем: измерения доплеровских частот, фазовых пеленгаторов, векторных анализаторов, узлов обработки сигналов

Модуль 2. Элементная база фотонных систем (77 ч.)

1. Источники и приемники оптического излучения.

Исследование характеристик полупроводниковых лазерных диодов. Исследование характеристик фотодиодов

2. Модуляция оптического излучения

Исследование электрооптического модулятора Маха-Цандера. Исследование формирователей сложно-модулированных сигналов.

3. Оптическое волокно

Исследование искажений сигналов при распространении по оптическому волокну. Методики определения затухания оптического излучения в оптоволокне. Влияние дисперсии оптического волокна на передачу аналоговых сигналов.

4. Пассивные оптические компоненты

Исследование характеристик волоконных брэгговских структур.

Модуль 3. Моделирование радиофотонных систем (21 ч.)

1. Общие принципы работы в САПР для моделирования фотонных систем

Обзор САПР для радиофотоники. Особенности компонентов. Моделирование передатчика. Подсистемы - иерархическое моделирование. Проектирование WDM, анализ BER. Двухнаправленное моделирование. Работа с выборками.

2. Моделирование простейших фотонных схем и компонентов

Проектирование усилителей. Моделирование ВБР с заданными характеристиками. Моделирование и расчеты схем типовых процессов в ОВ. Ознакомление с программной средой для демонстрации проектов. Моделирование компонентов в интегральном исполнении. Моделирование разветвителя. Экспорт интегральных компонентов.

3. Моделирование радиофотонных функциональных устройств

Моделирование оптоэлектронного генератора. Моделирование радиофотонного метода определения угла прихода. Моделирование радиофотонного метода определения доплеровского изменения частоты. Моделирование радиофотонных функциональных схем.

Модуль 4. Фотонные интегральные схемы (11 ч.)

1. Базовые понятия об интегральной фотонике.

Технические платформы для интегральной фотоники. Программное обеспечение для моделирования.

2. Моделирование простейших ФИС

Пассивные компоненты ФИС. Направленные ответвители. Ввод излучения в ФИС.

Моделирование интерферометра Маха-Цандера. Ввод излучения в ФИС. Пакеты Lumerical MODE и Lumerical FDTD. Пакет Lumerical INTERCONNECT, Скриптинг в Lumerical. Моделирование кольцевого резонатора.

Перечень практических и лабораторных занятий

Модуль	Номер темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
1	2	3	4
2	1	Исследование характеристик полупроводниковых лазерных диодов (САПР)	8
		Исследование характеристик фотодиодов (САПР)	
	2	Исследование электрооптического модулятора Маха-Цандера (САПР)	16
		Исследование электрооптического модулятора Маха-Цандера (на макете, часть 1)	

		Исследование электрооптического модулятора Маха-Цандера (на макете, часть 2)	
		Исследование формирователей сложно-модулированных сигналов. (САПР)	
	3	Исследование искажений сигналов при распространении по оптическому волокну (САПР)	12
		Методики определения затухания оптического излучения в оптоволокне (на макете)	
		Влияние дисперсии оптического волокна на передачу аналоговых сигналов (САПР)	
	4	Исследование характеристик волоконных брэгговских структур (на макете)	4
3	3	Моделирование оптоэлектронного генератора (САПР)	16
		Моделирование радиофотонного метода определения угла прихода (САПР).	
		Моделирование радиофотонного метода определения доплеровского изменения частоты (САПР).	
		Моделирование радиофотонных функциональных схем (САПР).	
4	2	Моделирование интерферометра Маха-Цандера (САПР).	8
		Моделирование кольцевого резонатора (САПР).	

5. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий (адрес)	Вид занятий	Наименование оборудования/программного обеспечения
1	2	3
Аудитория 6, ул. К. Маркса, 31/7, каф. РФМТ	Лекции, лабораторные занятия (по видео-конференц связи)	Компьютер, мультимедийный проектор, экран, доска, автоматические аппараты для сварки оптических волокон Fujikura FS80, Sumitomo TYPE-39, Inno View 3, система оптическая измерительная FTV-500, прибор оптический измерительный МТР 9000В, стенд «макет ВОЛС по технологии GPON».
Аудитория 18, ул. К. Маркса, 31/7, НИИ ПРЭФЖС	Лабораторные занятия (по видео-конференц связи)	Комплект электрооптических модуляторов с устройствами управления. Комплект излучатели и приемников оптического излучения. Станция записи ВБР. Оптический анализатор спектра. Цифровой осциллограф. Функциональный генератор.

Лабораторные занятия проводятся на территории КНИТУ-КАИ с использованием материально-технической базы кафедры РФТМ и НИИ ПРЭФЖС.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение программе

6.1 Основная и дополнительная учебная литература

1. Листвин, А. В. Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРарт, 2005. – 208 с.
2. Цуканов, В.Н. Волоконно-оптическая техника. Практическое руководство. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 304 с.
3. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М.: Техносфера, 2003. – 590 с.
4. Метрологическое обеспечение волоконно-оптических систем передачи: конспект лекций, ФГБОУ ВО ПГУТИ. – 143 с.
5. ГОСТ Р МЭК 60793-1-40-2012. Волокна оптические. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание.
6. ГОСТ Р МЭК 60793-2-50-2018. Волокна оптические. Технические требования к изделию. Групповые технические требования к одномодовым оптическим волокнам класса В.
7. РД 45.047-99. Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризональных первичных сетях ВСС России. Техническая эксплуатация.
8. Стандарты ITU-T: G.651.1, G.652, G.653, G.654, G.655
9. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи: теория передачи и влияния, проектирование, строительство и техническая эксплуатация / Андреев В.А., Портнов Э.Л., Бурдин В.А., Бурдин А.В., Воронков А.А. / Учебник для вузов / Под редакцией В. А. Андреева, 8-е изд., перераб. и доп. 2018 г. 396 стр.
10. Волоконные брэгговские решетки и мультипликативные датчики на их основе: учебное пособие для ВУЗов / А.А. Кузнецов, А.Ж. Сахабутдинов, И.И. Нуреев, В.И. Артемьев; под ред. О.Г. Морозова. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ. – 2020. - 108 с.
11. Agrawal, G.P. Fiber-Optic Communication Systems / G.P. Agrawal. – John Wiley & Sons, 2012. – 627 p.
12. Митрофанов А.С. Основные принципы работы лазеров. Учебное пособие по курсу "Лазерная физика, техника и технология". - СПб: СПбГИТМО(ТУ), 1999. - 74 с.
13. Митрофанов А.С. Принципы усиления оптического излучения. Учебное пособие. СПб: СПбГУИТМО, 2005, с.112.
14. Урик Винсент Дж.-мл. Основы микроволновой фотоники // Москва: Техносфера, 2016. – 376с.
15. Сидоров, А.И. Основы фотоники: физические принципы и методы преобразования оптических сигналов в устройствах фотоники. Учебное пособие. – СПб.: ФГБОУ ВПО «СПб НИУ ИТМО», 2014 г. – 148 с.
16. Афанасьев, В.М. Электрооптический модулятор по схеме интерферометра Маха-Цандера // Прикладная фотоника, 2016. – Т.3, №4.

6.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Дисперсия и методы ее измерения [Электронный ресурс]: — Текст электронный // Банк лекций Siblec.ru. — URL: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/opticheskie-linii-svyazi-i-passivnye-komponenty-vosp/5-dispersiya-i-metody-ee-izmereniya> (дата обращения: 04.07.2024). — Режим доступа: свободный.
2. Шевцов, А. Н. Оптические системы передачи: учебное пособие / А. Н. Шевцов. — 2-е изд., доп. — Хабаровск: ДВГУПС, 2018. — 164 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL:

<https://e.lanbook.com/book/179409> (дата обращения: 04.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Дмитриев, А. Л. Оптические системы передачи информации: учебное пособие / А. Л. Дмитриев. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2007. — 96 с. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/43636> (дата обращения: 04.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Варжель, С. В. Волоконные брэгговские решетки : учебное пособие / С. В. Варжель. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2015. — 65 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/70838> (дата обращения: 04.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Грибаев, А. И. Интерферометрические методы записи волоконных решеток Брэгга : учебное пособие / А. И. Грибаев, С. В. Варжель, А. В. Куликов. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2018. — 43 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/136507> (дата обращения: 04.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательных процессов по программе

1. Сайт «Федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования».
2. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru>
3. Сайт КНИТУ-КАИ.

7. Оценка качества освоения программы

Аттестация слушателей включает четыре текущих контроля (по каждому модулю) и итоговую аттестацию. Текущий контроль представляет собой устное обсуждение в формате круглого стола. Итоговая аттестация включает в себя ответы на контрольные вопросы билета по всем модулям посредством заполнения интерактивных онлайн-форм (по 5 вопросов в билете).

Слушатель считается успешно итоговую аттестацию, если он верно ответил не менее чем на 3 из 5 вопросов билета. Слушатель считается аттестованным, если пройдены все этапы текущего контроля и успешно пройдена итоговая аттестация.

Примеры контрольных вопросов и вопросов для обсуждения в ходе текущего контроля.

Модуль 1. Введение в фотонику

Какие требования предъявляются к радиофотонным системам, предназначенным для измерения параметров антенных систем?

Объясните почему важно снижение фазового шума в радиофотонных генераторах

Модуль 2. Элементная база фотонных систем

Опишите устройство двухпортового ММЦ.

Каким образом реализуются волокна с сохранение поляризации?

Каким образом реализуются волокна, устойчивые к воздействию радиации?

Чем обусловлено замирание сигнала в аналоговых ВОЛП и какие методы борьбы с этим явлением вы знаете?

Модуль 3. Моделирование радиофотонных систем

Назовите основное назначение и возможности пакета OptiWave OptiGrating?

Назовите основные САПР для моделирования фотонных систем?

Модуль 4. Фотонные интегральные схемы

Приведите примеры типовых элементов ФИС.

Какие ограничения платформы «нитрид кремния»?

Какие типовые размеры сечения оптического волновода, реализованного на платформе «кремний на изоляторе»?

8. Кадровые условия реализации программы

В реализации программы принимают участие ведущие преподаватели и специалисты кафедры радиопотоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ.

9. Разработчики и составители программы

Кузнецов Артём Анатольевич,
д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой радиопотоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ