

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Сахбиева Гимура Рафилевича

«Оптический векторный анализатор с трехчастотным скапированием», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

### Актуальность темы

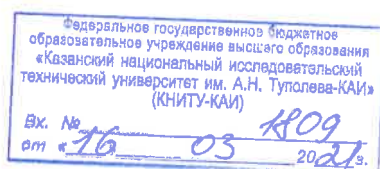
Оптические векторные анализаторы являются базовым типом приборов, которые применяются при исследовании и контроле спектральных характеристик пассивных оптических элементов, используемых в квантовых коммуникациях оптических кристаллов, и оптоволоконных датчиков со сверхузкими спектральными характеристиками. Контроль спектральных характеристик указанных элементов по амплитуде и фазе важен как для определения параметров отдельных элементов, так и для оценки их влияния на свойства телекоммуникационных, сенсорных или обрабатывающих информацию сетей и систем в целом. Классические подходы к оптическому спектральному анализу очень дороги и используются только в лабораторных условиях или уникальных проектах. В связи с этим актуальным видится возможности построения таких оптических векторных анализаторов, в которых была бы использована доступная элементная база, а сам прибор обладал бы высокой спектральной разрешающей способностью и простотой исполнения. Описанные обстоятельства определяют актуальность проведенного исследования, находящегося в тесной связи с прикладными исследованиями по приоритетным направлениям развития науки и техники Российской Федерации, утвержденным соответствующей Целевой Федеральной научно-технической программой.

### Общая характеристика и структура диссертационной работы

Диссертационная работа Сахбиева Г.Р. посвящена разработке методов измерительного преобразования, анализа и принципов построения оптических векторных анализаторов, использующих трехчастотное асимметричное по амплитуде и/или частоте зондирующее излучение с обработкой результирующего сигнала радиофотонными методами. Использование трехчастотного скапирования предложено автором для улучшения разрешающей способности и чувствительности измерений, упрощения схем обработки полученной информации.

Для достижения поставленной научной задачи автор проводит сравнение существующих и перспективных оптических векторных анализаторов различного типа, анализ их характеристик и выявляет резервы, позволяющие улучшить как метрологические, так технико-экономические характеристики оптических векторных анализаторов за счет применения в них новых принципов трехчастотного скапирования с радиофотонной обработкой данных. Автор исследует взаимодействие трехчастотного излучения с произвольным оптическим устройством, выявляет связь выходных параметров детерминированного асимметричного трехчастотного излучения после прохождения его через исследуемое оптическое устройство с параметрами входного излучения и со спектральными характеристиками исследуемого оптического устройства. Проводит проверку основных соотношений математической модели методами компьютерного моделирования, разрабатывает практические рекомендации по проектированию оптических векторных анализаторов.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 99 наименований, и приложения. Работа без приложения изложена на 183 страницах машинописного текста, включая 61 рисунок, 3 таблицы и 115 формул.



## **Новизна полученных результатов, степень их обоснованности и достоверности**

Научная новизна полученных результатов состоит в выявлении резервов, позволяющих улучшить не только метрологические, но и технико-экономические характеристики оптических векторных анализаторов. Предложен новый метод сканирования, основанный на трехчастотном разбалансированном по амплитуде и частоте излучении, перестраиваемом по частоте. Новый метод позволил автору повысить разрешающую способность измерений и упростить схему обработки данных.

Автором предложен метод измерительного преобразования, позволяющий с более высокой точностью получать информацию о частотных (амплитудных и фазовых) характеристиках спектральных элементов, на базе трехчастотного сканирующего излучения, сформулированы требования метода. В работе предложены методы перестройки трехчастотного сканирующего излучения, приведены способы его формирования из одночастотного, удовлетворяющие требованиям метода измерительного преобразования.

В работе разработаны и предложены научно-технические основы проектирования оптических векторных анализаторов на основе трехчастотного сканирования, показана возможность унификации элементной базы, структуры специальных стендов для калибровки и исследования оптических векторных анализаторов, дано алгоритмическое обеспечение процесса измерений.

## **Практическая ценность работы**

Ценность представленной диссертационной работы заключается в предоставлении практических рекомендаций по проектированию оптических векторных анализаторов, основанных на применении в них трехчастотного асимметричного по амплитуде или частоте сигнала, включая модельный ряд модуляционных формирователей зондирующего излучения, математическую основу и программное обеспечение для обработки информации. Автором разработаны и представлены специальные экспериментальные стенды для калибровки и контроля узлов векторных анализаторов. Благодаря снижению числа дополнительно вводимых в векторный анализатор устройств, формирующих перестраиваемое зондирующее излучение, и универсализации их элементной базы достигается значительная экономия ресурсов на создание оптических векторных анализаторов.

## **Оценка диссертации по ее завершенности, стилю и языку изложения**

Диссертационная работа Сахбисва Т.Р. представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной научно-технической задачи. Ее содержание изложено последовательно, методически правильно и полностью раскрывает сформулированные и решаемые научные и практические задачи. Работа написана грамотно, хорошим языком, стилистические ошибки и опечатки встречаются, но редко. Диссертация содержит богатый иллюстрационный материал в виде большого числа рисунков, графиков, таблиц и фотографий. Основные цитируемые положения сопровождаются ссылками на источники.

В целом диссертация по объему и оформлению соответствует требованиям ВАК РФ. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации и в достаточной мере раскрывает ее содержание.

## Диробация, публикация и внедрение результатов работы

Научные и практические результаты работы отражены в 20 научных работах, основными из которых следует считать 15 работ, в том числе 2 статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК по специальности 05.11.13, 2 статьи в журналах, включенных в базы данных Scopus/WoS, 4 статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК по смежным специальностям, 7 работ в материалах докладов международных и Всероссийских конференций. Результаты докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях международного и всероссийского уровня.

Реализация и внедрение результатов работы представлены в рамках выполнения НИР и НИОКР КНИТУ-КАИ, в частности, в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки РФ на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2014-2019 годы в его проектной (программы «Фотоника», «Радиофотоника») и базовых частях (программа «Ассиметрия») и на 2020-2022 годы (программа «Фократ», Соглашение № 075-03-2020-051 (fzsu-2020-0020)); инициативных работ с ООО ИПЦ «Пилот» и другими предприятиями нефтегазодобывающей и приборостроительной отраслей.

### Замечания по диссертационной работе

1. На странице 64 присутствует утверждение, что «каждая компонента исходного лазерного излучения может быть представлена гармоническим одночастотным сигналом, амплитудно-частотная характеристика которого описывается  $\delta$ -функцией Дирака». Таким образом, автор однозначно накладывает ограничения на спектральную ширину частот излучения. Однако, лазерное излучение, не может иметь спектральную ширину равную нулю. Автор не приводит дополнительных исследований и не приводит никаких оценок, связанных с влиянием спектральной ширины лазерного излучения на результаты измерений.
2. В разделе 3.1.2 акцентируется внимание на том, что используется «двухпортовый модулятор Маха-Цендера на основе ниобата лития», вместе с тем нигде не поясняется, почему был сделан выбор модулятора на базе ниобата лития, а не, например, фосфида индия, и чем этот выбор существенно влияет на результаты моделирования.
3. На всех рисунках, на которых приведены спектры, по оси ординат приведены значения амплитуды в нормированных (условных) или приведенных единицах мощности, исключение составляет рисунок 3.11, в котором ось ординат выражена в дБ. Децибел является относительной единицей, а на оси ординат графика указана амплитуда. Также непонятно, с чем связано отклонение от единицеобразия.
4. В оптико-электронной схеме, приведенной на рисунке 4.13, не учитываются колебания интенсивности излучения лазерного источника 1-LS, которые могут оказывать негативное влияние на взаимное отношение амплитуд формируемого трехчастотного сигнала. Также, в тексте работы не приведены требования к стабилизации амплитуды исходного лазерного излучения.
5. В разделе 3.1.3 рассматривается формирование двухчастотного излучения, при условии, что входное излучение лазера разделяется в модуляторе на два канала с одинаковой мощностью. И все зависимости, в том числе итоговая (3.2) приведены для случая разделения лазерного излучения пополам. На практике такое разделение реализовать весьма затруднительно. Было бы хорошо, если бы автор привел влияние погрешности разделения светового потока на две не равных составляющих, на спектральные характеристики результирующего сигнала.

6. Работа не лишена ряда орфографических и пунктуационных ошибок. Присутствуют некоторая небрежность в оформлении, например, подрисовочные надписи и надписи на осях плохо читаются на многих рисунках (рисунки 3.3а, 3.4, 3.5а, 3.6а, 3.7, 3.8, и др).

#### Заключение по диссертационной работе

Данные замечания не ставят под сомнение основные защищаемые положения диссертационной работы, которая заслуживает положительной оценки. Диссертационная работа Сахбиева Т.Р. актуальна, обладает внутренним единством, написана автором самостоятельно. Полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, представлены публикациями в изданиях требуемого уровня. Апробация работы проведена в соответствии с принятыми нормами. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Тема диссертации и область решаемых задач соответствуют паспорту специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Сахбиев Тимур Рафилович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

**Официальный оппонент:** Грачев Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и техника оптической связи» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород

«10» марта 2021 г.

/ В.А. Грачев/

Подпись В.А. Грачева заверяю, учёный секретарь учёного совета ФГБОУ ВО «Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева», к.т.н., доцент

«10» марта 2021 г.



/ И.И. Мерзляков/

## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертации Сахбиева Тимура Рафилевича

«Оптический векторный анализатор с трехчастотным сканированием»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной  
среды, веществ, материалов и изделий

1.	Фамилия Имя Отчество	Грачев Владимир Александрович
2.	Гражданство	Российская Федерация
3.	Ученая степень (с указанием шифра специальности, по которой защищена диссертация)	Кандидат технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии
4.	Ученое звание	Отсутствует
5.	Место основной работы с указанием подразделения, должности и рабочего телефона	ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова, кафедра «Физика и техника оптической связи», доцент Раб.тел.: 8(831)436-82-33
6.	Адрес места основной работы с указанием индекса	603950, г.Нижний Новгород, ул. Мишина, 24
7.	Телефон	8(999)079-75-71
8.	Адрес электронной почты	grachev-v@yandex.ru

Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

Вид публикации	Название публикации	Выходные данные
Статья	Investigation of a radio-photonic frequency doubler of radio signals	Raevskii A.S., Biryukov V.V., Grachev V.A., Lobin S.G., [at al.] В сборнике: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 15. Сер.

		"Optical Technologies for Telecommunications 2017" 2018. С. 107740С.
Статья	Реализация смесителя СВЧ-сигналов на дискретной элементной базе радиوفотоники	Бирюков В.В., Букашова Е.С., Грачев В.А., Капустин С.А., Палачев М.А., Раевский А.С. Антенны. 2018. № 9 (253). С. 61-65
Статья	Радиотонные методы генерации и обработки радиочастотных сигналов	Бирюков В.В., Грачев В.А., Капустин С.А., Лобин С.Г., Палачев М.А., Раевский А.С. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2018. Т. 21. № 3. С. 93-100.
Статья	Investigation of the characteristics of fiber optic delay lines with different types of optical emission intensity modulation	Raevskii A.S., Biryukov V.V., Grachev V.V., Kapustin S.A., Lobin S.G. В сборнике: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 14. Сер. "Optical Technologies for Telecommunications 2016" 2017. С. 103420К.
Статья	Исследование радиотонного удвоителя частоты радиосигналов	Раевский А.С., Бирюков В.В., Грачев В.А., Лобин С.Г., Палачев М.А. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2017. Т. 20. № 3-2. С. 10-11.
Статья	Investigation of microwave signals radiophoton mixer performed on two electro-optical modulators	Belov Y.G., Biryukov V.V., Bukashova H.S., Grachev V.A., Raevskii A.S. [at al.] В сборнике: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019. С. 111460М.
Статья	On the creation of	Belov Y.G., Biryukov V.V.,

	radiophoton devices for the generation and processing of radio frequency signals	Bukashova H.S., Grachev V.A., Raevskii A.S. [at al.] В сборнике: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019. С. 111460Q.
Статья	Применение электрооптического модулятора интенсивности в устройствах преобразования частоты радиосигналов	Бирюков В.В., Грачев В.А., Лобин С.Г., Палачев М.А., Раевский А.С. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2017. № 2 (117). С. 49-55.
Статья	Реализация устройств генерации и преобразования сигналов СВЧ-диапазона методами радиофотоники	Бирюков В.В., Грачев В.А., Лобин С.Г., Палачев М.А., Раевский А.С. Ангелы. 2017. № 11 (243). С. 63-70.
Статья	Application of optical heterodyning methods in microwave transducers	Biryukov V.V., Grachev V.A., Kapustin S.A., Malyshev K.L., Perevezentseva Yu.S., Raevsky A.S. ITM Web of Conferences. 2019. T. 30. С. 14001.
Статья	Estimation of losses per unit length in a rectangular waveguide with rough screening surfaces based on the concept of partial waves	Biryukov V.V., Grachev V.A., Karakozova E.N., Lobin S.V., Shcherbakov V. ITM Web of Conferences. 2019. T. 30. С. 07001.

Сведения подтверждаю:

зав. кафедрой ФТОС, д.ф.-м.н., профессор

А.С. Раевский

