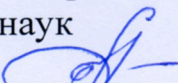


«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального директора -  
заместитель по научной работе,  
доктор технических наук



 А.Н. Щипунов  
«                    » 2021 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации о научно-практической ценности диссертации Александра Дмитрия Валерьевича на тему «Лазерная интерферометрия на основе частотно-фазовой модуляции для исследования сейсмических и геоакустических колебаний», на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика».

### Актуальность выбранной темы.

На сегодняшний день для измерения характеристик акустических и сейсмических процессов, происходящих в окружающей среде применяются, в основном, высокочувствительные интерферометры-деформографы. Однако характеристики данных приборов (как точностные, так и функциональные) не полностью удовлетворяют требованиям перспективных потребителей. Например, в единых комплексах с существующими сейсмографами (где интерферометры-деформографы регистрируют непосредственно перемещение, а сейсмографы - вторую производную перемещений), требуется повышение чувствительности используемых приборов до уровня  $\Delta L/L = 10^{-12}$ , иначе - параметры деформографов не позволяют достичь требуемых характеристик единого комплекса.

Наиболее перспективным направлением повышения точности интерферометров-деформографов является развитие методов интерференционной обработки получаемых сигналов, что требует решения задач определения и оптимизации параметров обратной оптической связи, режимов стабилизации лазера и интерферометра и разработки методик цифровой обработки получаемых интерферометрических данных.

В рамках диссертации Александра Д.В. предложен новый метод фазочастотной модуляции оптического излучения, основанный на суперпозиции двух независимых модуляционных процессов, направленный на решение вышеуказанных задач.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

Разработанный метод фазочастотной модуляции позволит достичь чувствительности интерферометров-деформографов, необходимой при решении задач:

- создания перспективных систем сейсмоконтроля на рудниках горнодобывающей промышленности, обеспечивающих возможность обнаружения предвестников опасных деформаций и смещений горных пород;

- создания систем определения параметров наноразмерных материалов и покрытий, изучения электрофизических и нелинейных свойств материалов при решении задач создания и исследования образцов в рамках развития перспективных нанотехнологий;

- создания систем обнаружения и прогнозирования землетрясений, прохождения мощных тропических ураганов, тайфунов, цунами, обеспечивающих возможность своевременного принятия мер по минимизации возможного ущерба от природных явлений.

Научная новизна исследования и полученных лично автором результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации заключается в том, что:

- впервые предложен и реализован метод лазерной интерферометрии для исследований акустических и сейсмических колебаний, основанный на совместном применении: частотной модуляции оптического излучения при суперпозиции двух независимых модуляционных процессов, один из них осуществляется с помощью электрооптического модулятора, второй - обусловлен изменениями длины измерительного плеча интерферометра в соответствии с деформационными колебаниями, методиками определения параметров обратной связи на основе анализа решений системы интегральных уравнений двухмерной модели трехзеркального лазерного резонатора, численных расчетов и экспериментального моделирования, линеаризации и цифровой обработки сигналов позволяющей достичь высокой чувствительности регистрации деформаций  $\Delta L/L = 10^{-12}$  в широком динамическом диапазоне до 200 дБ;

- разработана двумерная модель трёхзеркального лазерного резонатора, для которого в квазиоптическом приближении сформулирована система интегральных уравнений, описывающих поведение электромагнитного поля в данной модели; определены условия оптимальной настройки зеркал; определены параметры обратной оптической связи, необходимые для устойчивой работы резонатора в широком временном диапазоне;

- впервые применён метод лазерной интерферометрии для исследования сейсмических колебаний в синхронных измерениях, проводимых в трёх разных зонах (г. Фрязино Московской области, мыс Шульца Приморского края и с. Паратунка Камчатского края). Впервые выполнены синхронные параллельные и независимые исследования

акустических, микросейсмических и деформационно-барических процессов с применением длиннобазовых интерферометров, и проведён их сравнительный анализ.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов проведённых исследований по усовершенствованию методов измерений и создания новых средств лазерной интерферометрии для решения задач:

- мониторинга геодинамических процессов в сейсмо-энергоактивных зонах для обнаружения и прогнозирования землетрясений, прохождения мощных тропических ураганов, тайфунов, цунами;
- определения параметров наноразмерных материалов и покрытий, изучения электрофизических и нелинейных свойств материалов при решении задач создания и исследования образцов в рамках развития перспективных нанотехнологий;
- мониторинга состояния горных пород (в части наличия деформационных процессов) для решения задач сейсмоконтроля на рудниках горнодобывающей промышленности.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Результаты и выводы, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы к использованию при решении различных научных и прикладных задач, таких как:

- изучение динамики сейсмического и геофизического полей, связанных со стихийными бедствиями (землетрясения, ураганы, цунами и т.п.);
- проведение оценки фоновых процессов в натуральных условиях, включая промышленные и строительные объекты, подземные и горные выработки
- усовершенствование методов измерений амплитудно-временных характеристик акустических и сейсмических колебаний.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается использованием широко распространённых апробированных методов интерферометрии, подтверждением теоретических моделей в экспериментах, а также сравнением результатов экспериментальных исследований с существующими работами других авторов.

Оценка содержания диссертации, её завершенность в целом, замечания по оформлению.

При ознакомлении с материалами диссертации возник ряд замечаний:

- в диссертации приведены записи землетрясений в Непале и Чили, но нет данных по событиям в Российской Федерации, которая является одним из основных перспективных потребителей систем прогнозирования землетрясений.

- недостаточно раскрыт потенциал практического, коммерческого использования методик и инструментов, созданных на базе проведенных исследований.

- в работе содержится небольшое количество опечаток, пунктуационных и стилистических ошибок.

- отсутствует список принятых сокращений терминов, используемых в диссертационной работе.

Сделанные выше замечания не изменяют общего положительного впечатления о работе Александрова Д.В. и не влияют на её выводы. Используя интегральные уравнения и компьютерное моделирование в сочетании с детальным анализом полученных данных, диссертант получил значимые результаты в области радиофизики.

#### Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

По структуре и объёму, автореферат в целом соответствует основным положениям диссертации, и достаточно полно отражает её содержание.

#### Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

Результаты диссертации опубликованы в 33 работах, в том числе в 15 научных статьях, из которых 10 статей – в научных журналах, входящих в перечень российских рецензируемых изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК при Минобрнауки России), 3 статьи - в журналах, входящих в международные системы цитирования Web of Science, 2 статьи в других изданиях, и 18 докладов на международных и российских конференциях.

#### Заключение

Оценивая диссертацию в целом, можно утверждать, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи разработки метода частотно-модулированной лазерной интерферометрии для измерений деформаций, возникающих в результате искусственных сейсмологических звуковых колебаний, а также в сейсмологии для выделения колебаний, возникающих при глобальных геофизических явлениях.

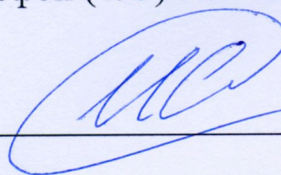
Выполненная Александровым Д.В. диссертационная работа по своему научному уровню, значению и достоверности новых результатов полностью соответствует требованиям ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям и паспорту специальности 01.04.03

«Радиофизика», а её автор, Александров Дмитрий Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв рассмотрен и единогласно утверждён на заседании секции №8 «Координатно-временные и навигационные измерения, измерения длины» Учёного совета ФГУП «ВНИИФТРИ» 2 марта 2021г. (протокол №2).

Отзыв составлен заместителем начальника научно-исследовательского отделения разработки и эксплуатации средств метрологического обеспечения координатно-временных и навигационных систем (НИО-8 ФГУП «ВНИИФТРИ»), кандидатом технических наук, Сильвестровым Игорем Станиславовичем.

141570, Московская область, г. Солнечногорск, р.п. Менделеево, промзона ФГУП «ВНИИФТРИ» корпус 11. телефон (495) 526-63-76, [igsilv@vniiftri.ru](mailto:igsilv@vniiftri.ru)



И.С. Сильвестров