|  |
| --- |
| Краткий научный отчет по проекту РФФИ №14-07-00518 за 2016 год, итоговый  **Название проекта:**  Создание и проведение исследований лазерно-информационной технологии дальней регистрации инфранизкочастотных акустических колебаний с применением прецизионных сейсмических вибраторов и лазерных измерительных линий  **Руководитель проекта** – д.т.н. Хайретдинов Марат Саматович  Проектом предусматривалось проведение теоретических и экспериментальных исследований, ориентированных на создание лазерно-информационной технологии регистрации инфранизкочастотных акустических колебаний с использованием прецизионных сейсмических вибраторов и лазерных измерительных линий. В основе регистрации лежат процессы, связанные с волновым возмущением лазерных световых колебаний внешним акустическим полем, сквозь которое в атмосфере распространяется световой луч. Возмущенная атмосфера в локальных точках пространства обуславливает вариации параметров распространения светового луча вследствие изменения характеристик поглощения и рассеяния в среде лучевого распространения. Следствием этого являются вариации скорости распространения измерительных световых волн, их фазо-частотные и амплитудные преобразования, определяющие возможности «лучевого приема» акустических колебаний.  Проанализированы критические условия осуществимости акустооптического преобразования, основанные на соотношениях параметров внешнего акустического поля и измерительных колебаний. Разработан и создан макет акусто-оптической информационной системы в соответствии с целями проекта в части подготовки и проведения экспериментальных исследований. В ней в качестве основного акустического излучателя акустических колебаний диапазоне частот 5-12 Гц используется сейсмический вибратор ЦВ-40, а при проведении лабораторных измерений применяется звуковой излучатель в виде 2-х сфазированных динамиков типа 30 ГД-501. В составе лазерной измерительной линии в качестве излучателя световых колебаний используются лазерный диод ИЛПИ-107 с длиной волны 850-930 нм, мощностью излучения до 6 Вт, частотой повторения импульсов 1 кГц, расходимостью излучения по углу 5° и приемник излучения на основе фотодиода КФД-113А2, имеющего спектральный диапазон от 400 до 1100 нм, чувствительность в рабочем диапазоне 0,5 А/Вт, эффективная фоточувствительная площадь фотодиода 2,75 мм2 , коэффициент усиления операционного усилителя 10 000, собирающая излучение линза диаметром 38 мм и фокусным расстоянием 28 мм. Для регистрации уровней входных акустических колебаний используется набор цифровых станций, пространственно распределенных вдоль линии светового луча. Для регистрации метеопараметров используется научная метеостанция «Oregon» модели LW301.  Основные предпосылки к созданию подобной системы обусловлены методикой проведения экспериментальных работ, предусматривающей выполнение строго повторяющихся актов излучения акустических колебаний, их регистрации и оценивания эффектов акустооптического преобразования в системе «цифровые станции- приемник лазерного излучения» с учетом влияния метеопараметров в окружающей атмосфере. Разработаны методика и программы проведения экспериментов, методы и устройства удаленного сетевого сбора данных с датчиков с использованием каналов Интернет и сотовой связи.  Для обработки акустических и оптических колебаний создан программный комплекс, выполняющий функции преобразования, обнаружения и измерения параметров полезных колебаний и шумов. В таком сочетании средств созданная *виброакустооптическая система отличается оригинальностью и новизной* и определяет перспективу проведения и развития исследований по акустооптическим взаимодействиям на инфранизких частотах.  С помощью созданной акустооптической системы на базе вибросейсмического полигона «Быстровка» (Новосибирская область) и Лазерного полигона Института лазерной физики СО РАН» (село «Кайтанак», республика Горный Алтай) были выполнены эксперименты по акустическому зондированию лазерных лучей и одновременной регистрации входных акустических и выходных оптических колебаний. Последний представлен периодической последовательностью импульсов накачки лазерного излучения с частотой следования 1000 Гц и длительностью 50-150 мкс каждый. В качестве анализируемых параметров выходной последовательности используются амплитудные и частотно- временные характеристики последовательностей. На Быстровском полигоне акустические зондирования лазерного луча осуществляются вибратором ЦВ-40 в диапазоне частот 8-10.5 Гц, на полигоне «Кайтанак»- с помощью акустических колонок мощностью по 35 вт в диапазоне частот 40- 150 Гц.  Оценены уровни входных акустических давлений вдоль трасс световых лучей соответственно выбранным геометриям расстановок акустических датчиков под лучами в обоих экспериментах. В первом случае основные значения лежат в пределах 0.002-0.008 Па на фоне метеоусловий, характеризуемым скоростью ветра 7 м/с, влажностью 73%, атмосферным давлением 757 мм, температурой 0.3 град. Во втором случае входные акустические давления лежат в пределах 0.01-0.15 Па. Оценки получены с применением спектральной обработки акустических и оптических колебаний. Сравнительное оценивание помехоустойчивости выделения акустических сигналов с помощью непосредственно акустических датчиков и параллельно лазерной измерительной линией показало, что в втором случае она приблизительно на порядок выше, чем в первом. В первую очередь, это обусловлено разницей входных акустических давлений и соотношением уровней внешних шумов.  Дополнительно в экспериментах была оценена экспериментально девиация частоты следования импульсов накачки, возникающая под воздействием внешних шумовых возмущений. Дрейф частоты влияет на положение моды оптического сигнала на частотной оси. Полученное относительное максимальное значение ее составляет 0.2% и, соответственно, определяет точность положения мод на спектральной оси.  На основе проведения всесезонных экспериментов проанализировано влияние природных факторов на распространение акустических волн от вибратора ЦВ-40 на трассах протяженностью 42.7 и 50 км. Изучены особенности распространения акустических колебаний в инфранизком диапазоне частот с учетом влияния метеопараметров-направления и скорости ветра, температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, плотности облачного покрова, а также снежного покрова дневной поверхности земли. Оценены количественные характеристики эффектов пространственной фокусировки колебаний с учетом указанных параметров. Полученные результаты вносят дополнительный вклад в процессы акустооптического взаимодействия.  Дальнейшее совершенствование и развитие акустооптической системы инфразвуковых частот в направлении повышения помехоустойчивости выделения и оценивания параметров внешнего акустического поля базируется на основе применения двулучевой лазерной измерительной линии. На этом принципе разработан и создан двулучевой оптический стенд, проведены его испытания с целью выявления возможностей ограничительных возможностей двулучевого оптического приема. В ходе проведения эксперимента, были получены теневые диаграммы отраженного излучения от двух разнесенных рефлекторов, определена разрешающая способность фотолинейки, и найдено предельное расстояние, на котором может быть зафиксирован отраженный сигнал от рефлектора при работе с двулучевой оптической системой. |