

результат измерения прибором, характеристики которого превышают предельно достижимые для реального прибора (снижение RMS без ущерба для рассчитываемых DSCD).

• Независимым способом в остаточных спектрах обнаружена спектральная структура, похожая на ту, что выделил Й. Лампель.

1. Platt, U. Differential Optical Absorption Spectroscopy Principles and Applications / U. Platt, J. Stutz. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 597 p.
2. Lampel J., Lübcke P., Zielcke J., Platt U. Analyzing residual spectra using Principal Component Analysis // 4-th DOAS Workshop, Boulder, 2013.
3. Lampel J., Lübcke P., Warnach S., Frieß U., Platt U., Beirle S., Wagner T. How much information is hidden in residual spectra of DOAS fits? // 7-th DOAS Workshop, Brussels, 2016.

4. Бручковский И. И., Боровский А. Н., Демин В. С., Красовский А. Н. Прибор для дистанционной регистрации двуокси азота в атмосфере // Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2013. № 1. С. 41–45.
5. Oriel MS257™ 1/4 m Monochromator and Imaging Spectrograph [Electronic resource] // Newport Corporation 1996–2015. URL: <http://www.newport.com/MS257153-1-4-m-Monochromator-and-Imaging-Spectrograph/378367/1033/info.aspx> (date of access: 24.03.2017).
6. Бручковский И.И., Красовский А.Н., Демин В.С. Зеркально-линзовый прибор MAX-DOAS: результаты международных сравнений MAD-CAT 2013 // Вестник БГУ, Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2015. №3. С.44 – 49.
7. Y.Wang et al. Inter-comparison of HONO profiles derived from MAX-DOAS observations during the CINDI-2 campaign // 8-th DOAS Workshop, Yokohama, 2017.
8. Kaiser J., Reed W. Data smoothing using low-pass digital filters // Review of Scientific Instruments, Volume 48, Issue 11, P. 1447-1457 (1977).

УДК 535.8

## ПАНОРАМНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР СКАНИРУЮЩЕГО ТИПА

Власовец Н.С.<sup>1</sup>, Козерук А.С.<sup>1</sup>, Кудряшов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

Лазерная локация является составной частью новейших методов и технологий геоинформатики и цифровой фотограмметрии и в наши дни находит применение во многих отраслях народного хозяйства, в частности, в решении задач инженерного проектирования, панорамного мониторинга и бурно развивается во многих странах мира [1].

Использование метода лазерной локации, совмещенного с цифровой видеосъемкой, спутниковой навигацией и геопозиционированием, сопровождаемого цифровой спутниковой съемкой в оптическом и радио диапазонах и интегрированных в геоинформационных системах для целей дистанционного наблюдения за обстановкой на границе, что позволяет проводить дистанционный мониторинг участка с высокой эффективностью при минимуме наземных работ и значительной экономии времени и финансовых средств.

Обработка огромных массивов данных лазерного зондирования (сотни гигабайт дискового пространства) выполняется на компьютерах в режиме реального времени, т.е. одновременно или почти одновременно с выполнением измерений. Все этапы выполнения лазерно-локационных съемок, начиная с приборного обеспечения, построения, обновления, совершенствования опорной геодезической сети, наземной калибровки и заканчивая обработкой и архивированием получаемых материалов, созданием и наполнением баз данных геоинформационных систем, результирующей картографической продукции и цифровых трехмерных моделей местности и объектов, требуют совершенствования существующих конструкций лидаров, с целью возможности слежения за быстро движущимися объектами в пространстве.

Преимущества лазерно-локационного метода:

1. Технологическая простота, короткий технологический цикл. Материалы сканирования охраняемого участка представлены как совокупности (облака) лазерных точек, разделенные по их морфологической принадлежности (земля, растительность, поверхности водоемов, кровли зданий, провода и др.), цифровые модели рельефа, а также многие контурные объекты и модели географических объектов в трехмерном представлении. Все упомянутые материалы уже в момент возникновения полностью координированы, т.е. определены в некоторой заранее заданной системе геодезических или географических координат и в дальнейшем принципиально не требуется проведения никаких дополнительных мероприятий по координатной коррекции или преобразованию. Также важно то, что на практике подготовка всех этих материалов осуществляется в полевых условиях, в результате чего собственно камеральная фаза обработки начинается в существенно более подготовленных условиях, что, в свою очередь, также способствует сокращению технологического цикла.

2. Гарантии точности. В большинстве случаев точность специфицируется на уровне 15 см по плановым и высотным координатам, причем специально указывается, что речь идет об абсолютной геодезической точности. Такой уровень точности является безусловно достаточным для чрезвычайно обширного класса приложений, в частности для создания топографических планов, вплоть до масштаба 1:1000 включительно.

3. Высокая производительность. Производительность лазерно-локационного метода чрезвычайно высока. На практике достигнута производительность сканирования в 500–600 км за один аэросъемочный день для линейных объектов и в

500–1000 км<sup>2</sup> для площадных объектов. Приведенные цифры требуют корректной интерпретации, так как производительность, кроме всего прочего, зависит от заданных условий съемки, таких, как ширина полосы захвата, плотность (количество лазерных точек на единицу поверхности), и др. В той же самой степени производительность лазерного сканирования прямо зависит от заданного масштаба фотографирования. В случае лазерной локации практически эквивалентными оказываются производительность как собственно сканирующих работ, так и базовых процедур обработки (темп сбора данных в основном соответствует темпу их обработки).

4. Возможность работы в ночное время и в любое время года. Эта возможность вытекает из того факта, что лидар является активным средством дистанционного зондирования, т.е. регистрирует собственное, а не отраженное солнечное излучение.

В современной лазерной локации используются два основных метода измерения наклонной дальности – импульсный и фазовый (в лидарах воздушного базирования в настоящее время используется только импульсный метод, а в наземных лидарах – и импульсный, и фазовый).

В импульсном методе по возможности, должна быть обеспечена минимальная длительность зондирующего импульса и его максимальная добротность (т.е. максимально крутой передний фронт). Совершенно аналогичные требования к форме зондирующего импульса предъявляются в радиолокации и других технологиях активного зондирования.

Как и во всех других родственных технологиях, в лазерной локации принято считать, что импульсный метод проигрывает по точности фазовому. Это происходит потому, что фактическая точность каждого измерения зависит от ряда параметров, каждый из которых может оказать на точность конкретного измерения. Таковыми параметрами являются:

- длительность и форма (в частности, крутизна переднего фронта) зондирующего импульса;
- отражательные характеристики объекта;
- оптические свойства атмосферы;
- текстура и ориентация элементарной поверхности объекта вызвавшей отражение зондирующего луча по отношению к линии визирования.

Влияние всех перечисленных выше параметров сводится к ослаблению «размыванию» формы отраженного импульса на входе оптической схемы приемника, т.е. к возрастанию неопределенности в измерении длительности задержки распространения зондирующего импульса до объекта и обратно. Повышение этой неопределенности на практике

оборачивается снижением точности. Фазовый метод во многом свободен от этого недостатка.

Излучение лидаров представляет угрозу для здоровья людей в смысле возможного поражения органов зрения и ожогов кожи. Причем на практике наибольшее внимание уделяется только угрозе зрению случайных наземных наблюдателей, так как ожоги кожи возможны только на очень близких расстояниях (первые метры), т.е. только в лабораторных условиях, где с прибором работает специально обученный персонал с соблюдением всех норм безопасности. Вопросы безопасного использования лидаров оказывают существенное влияние на методику выполнения лазерно-локационной съемки и обеспечение безопасности на практике сводится к определению минимально допустимой высоты полета, которое для некоторых моделей лидаров может составлять несколько сотен метров. Понятно, что это ограничение существенно, так как высота съемки является одним из главных параметров, прямо влияющих на детальность (плотность сканирования), точность и ширину полосы захвата.

Создание современной интегрированной системы, включающей в свой состав наблюдательный панорамный прибор сканирующего типа, работающий по импульсному методу, обеспечивает надежный контроль охраняемой территории и дает возможность слежения за быстро движущимися объектами как в дневное, так и в ночное время суток. В таком приборе дальность обнаружения движущегося в воздушном пространстве объекта (0,5×0,5×0,5 м), составляет не менее 5000 м, а распознавания – 4000 м. При этом обеспечивается передача полученной информации с периферийной части на станционную без задержек.

Основные возможности панорамного наблюдательного прибора сканирующего типа:

- обнаружение и отслеживание быстро движущихся объектов в воздушном и наземном пространстве;
  - подробная информация о положении, движении и форме окружающих объектов, а также о статических фоновых объектах;
  - распознавание и классификация объектов.
- В сканирующих панорамных наблюдательных приборах в качестве основных оптических элементов развертки используются:
- качающееся зеркало;
  - вращающаяся призма;
  - оптический клин.

Что касается простоты технической реализации, то все рассматриваемые схемы сканирования не представляют никаких проблем по этой позиции. Везде используется один или два движущихся оптических элемента, которые совершает колебания или вращаются с постоянной угловой скоростью. Это обстоятельство облегчает юстировку и в

значительной степени способствует стабильности и надежности работы оптической системы.

1. Медведев Е.М., Данилин Е.М., Мелиников С.Р. Лазерная локация земли и леса: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.

УДК 539.264

## СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ОПТИЧЕСКИХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ $\text{Er}^{3+}:\text{K}_2\text{YF}_5$ , СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Вилейшикова Е.В.<sup>1</sup>, Лойко П.А.<sup>2</sup>, Хайдуков Н.М.<sup>3</sup>, Юмашев К.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ИОНХ РАН, Москва, Россия

Кристаллы сложных фторидов с общей формулой  $\text{M}_2\text{LnF}_5$  кристаллизуются в системе  $\text{MF} - \text{LnF}_3$ , где  $\text{M} = \text{Na}, \text{K}, \text{Cs}$  и  $\text{Ln} = \text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}$ . Они обладают качествами радиационно стойких, прозрачных в широкой спектральной области, низкофононных оптических матриц. Благодаря возможности частичного замещения кристаллографических позиций “нейтральных” редкоземельных ионов ( $\text{Y}^{3+}, \text{Yb}^{3+}, \text{Lu}^{3+}$ ) оптически активными ионами ( $\text{Er}^{3+}, \text{Tm}^{3+}, \text{Ho}^{3+}$  и др.) без формирования ионных вакансий, структурным особенностям и низким значениям энергий фононов кристаллической решетки ( $\sim 400 \text{ см}^{-1}$ ), данные кристаллы перспективны как лазерные среды и, как и большинство фторидных кристаллов, как ап-конверсионные люминофоры.

Основным методом синтеза кристаллов  $\text{RE}^{3+}:\text{K}_2\text{YF}_5$  является синтез в гидротермальных условиях. Традиционные направленные методы, такие как методы Чохральского, не позволяют эффективно синтезировать объемные кристаллы  $\text{K}_2\text{REF}_5$ , ввиду ограничений кристаллической системы. Однако, по причине гигроскопичности кристаллов сложных фторидов, гидротермальный синтез может стать причиной ухудшения качества оптических матриц ввиду включения в структуру существенного количества ОН групп. Включение ОН групп в упорядоченную структуру  $\text{K}_2\text{REF}_5$ , может сопровождаться формированием дефектов, а также разнообразить фононный спектр высокочастотными модами, что окажет влияние на тепловые свойства матрицы. Это является потенциальным препятствием для разработки как лазерных материалов, так и ап-конверсионных люминофоров на основе данных кристаллов.

В работе исследованы структурные свойства кристаллов сложных пентафторидов  $\text{K}_2\text{YF}_5$ , активированных ионами  $\text{Er}^{3+}$ , в зависимости от температуры. Для экспериментов был изготовлен концентрационный ряд сложных фторидов  $\text{K}_2\text{YF}_5$ , синтезированных в гидротермальных условиях в Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН (Москва, Россия). Для гидротермальных экспериментов использовался автоклав объемом  $\sim 40 \text{ см}^3$ , с разделенной перфорированной диаграммой зоной растворения и кристаллизации. Кристаллы

формировались под действием температурного градиента (температура в зоне кристаллизации  $\sim 750 \text{ К}$ , температурный градиент  $> 3 \text{ К/см}$  и давление  $\sim 100 \text{ МПа}$ ) в результате реакции в водном растворе, содержащем 40–50 мол. %  $\text{KF}$  и  $\text{LiF}_3$ , а также смесь оксидов  $(1-x)\text{Y}_2\text{O}_3-x\text{Er}_2\text{O}_3$ , где  $x = 1, 0.1, 0.05, 0.02$ . В результате спонтанной кристаллизации получен концентрационный ряд кристаллов  $\text{Er}:\text{K}_2\text{YF}_5$ , размер которых составил  $\sim 5\text{-}10 \text{ мм}$ , рисунок 1.



Рисунок 1 – Фотография экспериментальных образцов кристаллов 10 ат. %  $\text{Er}^{3+}:\text{K}_2\text{YF}_5$

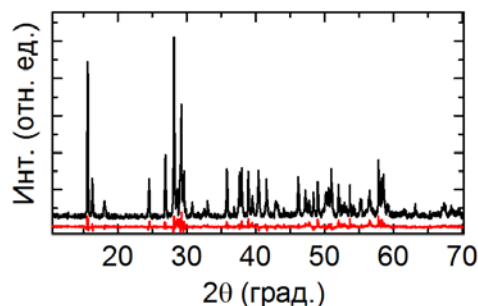


Рисунок 2 – Рентгенограмма  $\text{K}_2\text{YF}_5$  (303 К) и разница между расчетной и экспериментальной рентгенограммой

Для структурных исследований методом анализа рентгенограмм образцы тщательно перетирались в порошок. Рентгенограммы регистрировались на электронном диффрактометре Bruker D8 Advance X-Ray diffractometer с  $\text{Cu K}\alpha$  излучением в диапазоне температур 303 К до 775 К. Анализ рентгенограмм показал, что структура кристаллов принадлежит ромбической сингонии (пр. гр.  $\text{Pn}21a$ , #33). Параметры кристаллической ячейки уточнялись методом Ритвельда с использованием средств программного обеспечения HighScore PLUS (PANalytical). В процедуре уточнения участвовало три коэффициента нулевой линии  $a_0, a_1$  и  $a_2$ ,