УДК 528.8:629.78

К.Н.ЧИКОВ, В.В.ГУД, В.М.КРАСАВЦЕВ

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

БОРТОВАЯ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Предложена концепция усовершенствованного ультрафиолетового видеоспектрометра, предназначенного для установки на борт самолета и спутника. Представлена приборная разработка двухкомпонентной системы, содержащей входную оптику (проецирующий объектив) и оптику спектрометра (полихроматора). Показано, что концентрическая компоновка входного и коллиматорного объективов имеет ряд значительных преимуществ перед традиционными оптическими схемными решениями.

The concept of advanced ultraviolet airborne and satellite imaging spectrometer is presented. Two complete systems, including fore optics and spectrometer optics were designed. The concentric configurations of the fore objective and the collimator offer appreciable advantages over traditional arrangements.

Одним из перспективных направлений развития средств дистанционного зондирования в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне электромагнитного спектра является разработка и применение видеоспектральной аппаратуры для прогнозирования геолого-разведочных работ. Примерами здесь могут служить инженерно-геологические изыскания, проводимые в интересах проектирования и строительства подводных газопроводов с использованием информации, получаемой посредством бортовой видеоспектральной аппаратуры. Так, при реализации подводного газопровода Россия – Турция через Черное море или Северо-Европейского газопровода на акватории Финского залива множество прикладных задач может быть решено видеоспектральными средствами.

Привлечение видеоспектральных изображений рельефа морского дна в разных диапазонах электромагнитного спектра особенно эффективно для дешифрования и анализа прокладываемых подводных трасс. Опыт последних десятилетий показал, что наиболее информативны диапазоны волн 0,5-0,6 мкм и короче 0,4 мкм (т.е. УФ-диапазон). Здесь по мере перемещения от глубоководных участков к мелководным прослеживается сложная гамма тоновых переходов от темных тонов к светлым.

Светлым тоном изображаются мутные воды. Так как коротковолновая часть спектра солнечных лучей проникает в морскую толщу на большую глубину, то получаемые видеоспектральные изображения способны охарактеризовать распространение мутных вод до границ мелководных участков и контролировать глубину водоемов. По некоторым данным, видеоспектральные съемки в УФ-диапазоне позволяют визуализировать литодинамические процессы, оказывающие непосредственное динамическое воздействие на трубопроводы, а также заметно влияющие на заносимость подводных траншей (прорезей) на морском дне, вымывание засыпки заглубленных трубопроводов и миграцию береговой черты. Например, исследуя видеоспектральные изображения, несложно выявить обратимые высотные деформации рельефа дна на акватории Финского залива, величина которых в приурезной зоне доходит до 2,5 м, а в волноприбойной до 0,5-1,2 м.

Исключительное значение имеют литодинамические исследования на черноморском побережье Кавказа, района со сложной геоморфологией. Трасса подводного газо-

провода здесь пересекает склон, примыкающий к кавказскому побережью, длиной примерно 20 миль и склон Анатолийского побережья длиной около 80 миль. В этом районе присутствуют многочисленные подводные долины и каньоны, которые в большинстве случаев извилисты и имеют хорошо выраженные склоны, легко выделяемые на космических видеоспектральных изображениях. Такой рельеф дна может вызвать на отдельных участках магистрали протяженные провисания труб и обусловить значительные вибрационные нагрузки, вплоть до разрушения металла, что можно предотвратить, опираясь на анализ видеоспектральных данных.

Видеоспектральные аэрокосмические изображения позволяют выделить и картографировать разрывные нарушения, литолого-стратиграфические комплексы, выявлять складчатые структуры в условиях расчлененного рельефа. Например, область интенсивного проявления грязевого вулканизма, которая легко выделяется на видеоспектральных изображениях, парагенетически связана с нефтеносностью района. В частности, такие области характерны для районов западного побережья Каспийского моря.

Приведенное в качестве примеров описание возможностей получения важной видеоспектральной информации, имеющей прикладное значение, подтверждает актуальность ее изучения.

В настоящее время реализуется проект, целью которого является разработка оптико-электронной системы бортового видеоспектрометра УФ-диапазона, обеспечивающего ресурсно-сырьевое картирование и сопутствующее ему выявление перспективных месторождений полезных ископаемых. К основным задачам проекта следует отнести увеличение пропускания и светосилы УФ-видеоспектрометров при одновременном возрастании пространственного и спектрального разрешений для повышения эффективности дистанционных геологических исследований, направленных на прогнозирование геолого-разведочных работ, и создание на основе этих исследований расширенных баз данных, предназначенных для решения проблем рационального природопользования.

Разрабатываемая приборная система удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к современной бортовой видеоспектральной аппаратуре:

- отсутствие в приборе механических сканирующих узлов;
- обеспечение высокого качества изображения на выходе прибора в направлении его дисперсии и ортогонально этому направлению посредством взаимной компенсации аберрационных искажений, вносимых входной оптикой и оптикой полихроматора;
- оптимальное соотношение между светосилой и разрешающей способностью прибора.

При разработке оптической схемы бортового УФ-видеоспектрометра с входящими в ее состав зеркальными и зеркально-линзовыми объективами за базу были приняты концентрические оптические системы, свободные от большинства элементарных аберраций (в частности, от комы, астигматизма и дисторсии). Как известно, остаточные аберрации концентрических систем могут быть подвергнуты довольно эффективному исправлению. Например, для коррекции сферической аберрации может быть предложен расчетный путь, при котором аналитическое выражение этой аберрации подчиняется условию ее минимизации.

Исправление другой аберрации – кривизны поля – можно обеспечить, привлекая известные способы, а корригирование хроматизма можно получить, выполняя в определенной степени условие инвариантности эквивалентного заднего фокусного расстояния объектива от показателя преломления материала линзовых компонент.

При разработке входной оптики УФ-видеоспектрометра, включающей проецирующий и коллиматорный объективы, положительный эффект достигается при полном совмещении их сферических фокальных поверхностей и входной щели полихроматора.

При расчете оптической схемы бортового УФ-видеоспектрометра учитывались его ориентировочные «высотно-технические» характеристики:

• мгновенное поле зрения прибора должно обеспечивать с высоты 500 км размер регистрируемого пиксела на земной поверхности 100 м;

• протяженность полосы обзора прибора с высоты 500 км должна составлять на земной поверхности примерно 76 км.

Кроме того, с учетом характеристик высокочувствительного гибридного телевизионного прибора УПЗС-023, используемого в качестве приемника УФ-излучений, получены значения задних фокусных расстояний проецирующего и коллиматорного объективов 98,76 мм, а для камерного объектива 95,57 мм.

Рассчитанные параметры схемы имеют следующие оценочные величины:

Угол дифракции	29°23′18″
Угловая дисперсия, рад/мкм	0,689
Линейная дисперсия, мм/мкм	65,8
Относительное отверстие	≈1 : 2,5
Размеры входной щели, мм	0,037 × 13,824
Спектральное разрешение, нм	≈1,8

Машинное моделирование подтвердило значения расчетных параметров оптической схемы и высокое качество формируемых ею видеоспектральных изображений.

В рамках решения задач импортозамещения разрабатываемый бортовой прибор и полученная с его помощью информация представляет особый интерес, в первую очередь, для организаций, специализирующихся на упорядочении использования минеральных ресурсов, контроле объектов повышенной техногенной опасности, выявлении различных процессов загрязнений акваторий, обнаружении ранних стадий стресса растительности под влиянием антропогенной нагрузки и т.д. Следовательно, потенциальными потребителями продукции могут быть геологические, экологические, сельскохозяйственные и лесохозяйственные организации, а также организации топливно-энергетического комплекса и МЧС России.