

УДК 681.325.5.181.4:528.8

Л.Р. Бекирова

Азербайджанская государственная нефтяная академия, Баку

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Исследуются пути повышения быстродействия и достоверности подспутниковых систем, используемых при исследовании наземных объектов, оценке природных ресурсов и контроле экологического состояния окружающей среды. Описывается аппаратное и программное обеспечение спектрометрических измерительных систем и методы измерения, позволяющие обеспечить увеличение быстродействия измерений и достоверность полученных результатов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спектрометрические системы, быстродействие, коэффициент спектральной яркости, достоверность информации.

Введение

В настоящее время метод дистанционного зондирования широко используется при исследовании различных наземных объектов, контроле параметров окружающей среды в зонах чрезвычайных происшествий, а также для обнаружения и оценки негативных последствий, возникающих от воздействия природных и техногенных факторов в зонах нефтяных и газовых трубопроводов. Этот метод находит применение при оценке состояния сельскохозяйственных культур и растительного покрова, а также при оценке экологического состояния окружающей среды и при решении других важных задач.

При исследовании наземных объектов методом дистанционного зондирования выбор конкретного метода и средства измерения зависит от рабочих диапазонов исследуемых сигналов.

Например, при классификации наземных объектов в видимом диапазоне спектра оптико-физические свойства, в том числе яркостные и цветовые характеристики исследуемого объекта и эталонной поверхности, характеризуются коэффициентом спектральной яркости (КСЯ) и спектральной отражательной способностью (СОС), значения которых определяются по результатам измерений следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{КСЯ}_{\text{об}}(\lambda) &= \frac{L_{\text{об}}(\lambda)}{L_{\text{эт}}(\lambda)}; \quad \text{СОС}_{\text{об}}(\lambda) = \frac{L_{\text{об}}(\lambda)}{L_{\text{н}}(\lambda)}; \\ \text{СОС}_{\text{эт}}(\lambda) &= \frac{L_{\text{эт}}(\lambda)}{L_{\text{н}}(\lambda)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $L_{\text{об}}(\lambda)$, $L_{\text{эт}}(\lambda)$, $L_{\text{н}}(\lambda)$ – соответственно спектральные яркости световых потоков, отраженных от объекта или эталонной поверхности и фонового излучения небосвода.

Следует отметить, что зависимость вычисляемой по результатам измерений КСЯ от длины волны для каждого наземного объекта специфично. Поэтому все факторы, действующие на результаты

измерений и косвенно на КСЯ, следует тщательно исследовать.

Зависимость коэффициента спектральной яркости в упрощенном виде описывается следующей формулой [1]:

$$\text{КСЯ} = F_{\text{об}}(R, H, L_{\text{об}}, L_{\text{эт}}, x, y, z, \lambda, t) \pm \varepsilon, \quad (2)$$

где $F_{\text{об}}$ – обобщенная функция; R – обобщенный параметр внешних факторов, зависящий от формы, количества и расположения в атмосфере облачности, прозрачности атмосферы, скорости и направления ветра, высоты Солнца над горизонтом в течение дня, высоты полета, количества осадков и т.д.; $L_{\text{об}}$ и $L_{\text{эт}}$ – входные параметры системы; H – обобщенный параметр внутренних факторов, включающий методы измерений, технические параметры используемых блоков (погрешность измерения (s_x), количество выбираемых поддиапазонов измерений (n), время задержки или преобразования измерительного тракта системы (T_c), разрядность АЦП, и т.д.); ε – абсолютная погрешность измерений, связанная с внешними факторами (обычно $\varepsilon > 0$).

Таким образом, к техническим характеристикам систем дистанционного зондирования, расположенных на борту летательного аппарата (спутниково-космических или подспутниковых систем), из-за влияния различных внутренних и внешних факторов предъявляются специфические требования. Поэтому усовершенствование систем дистанционного зондирования является актуальной задачей.

Анализ состояния проблемы. В настоящее время для уменьшения воздействий условий измерения на их результаты используются многоканальные спектрометрические системы (с числом каналов от 24 до 240). Это ведет к увеличению аппаратных затрат, весогабаритных показателей и времени измерения. Кроме того, результаты измерений при этом являются смещенными во времени и в пространстве, что приводит к уменьшению достоверности полученной информации. Поэтому становится

очевидным необходимость создания систем дистанционного зондирования с минимальным количеством каналов и повышенным быстродействием.

Кроме того, как отмечено выше, для повышения достоверности информации необходимо уменьшить воздействие внешних и внутренних факторов на результаты измерений или учитывать эти воздействия при классификации исследуемых объектов. Системы с жесткой логикой работы не могут решать эти проблемы на требуемом уровне, поэтому появляется необходимость интеллектуализации таких систем.

На рис. 1 представлена структурная схема N-канального спектрометрического комплекса. Комплекс состоит из оптико-механического блока (ОМБ), содержащего оптический блок (ОБ), кото-

рый собирает и направляет световой поток от наземного объекта (или эталона) и от небосвода; механического модулятора, который поочередно направляет световые потоки от вышеуказанных источников на световые фильтры ($СФ_1-СФ_n$); блока питания (БП); двигателя (Д) и блока управления (БУ) модулятором, который осуществляет выбор режима работы системы по данным от микроконтроллера (МК). В состав комплекса входят также N-канальный блок оптико-электронного преобразования (БОЭП), содержащий световые фильтры, фотопреобразователи (ФП) и нормирующие усилители (НУ), электронный блок (ЭБ), содержащий блок коммутации (БК), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), МК и внешнее запоминающее устройство (ВЗУ).

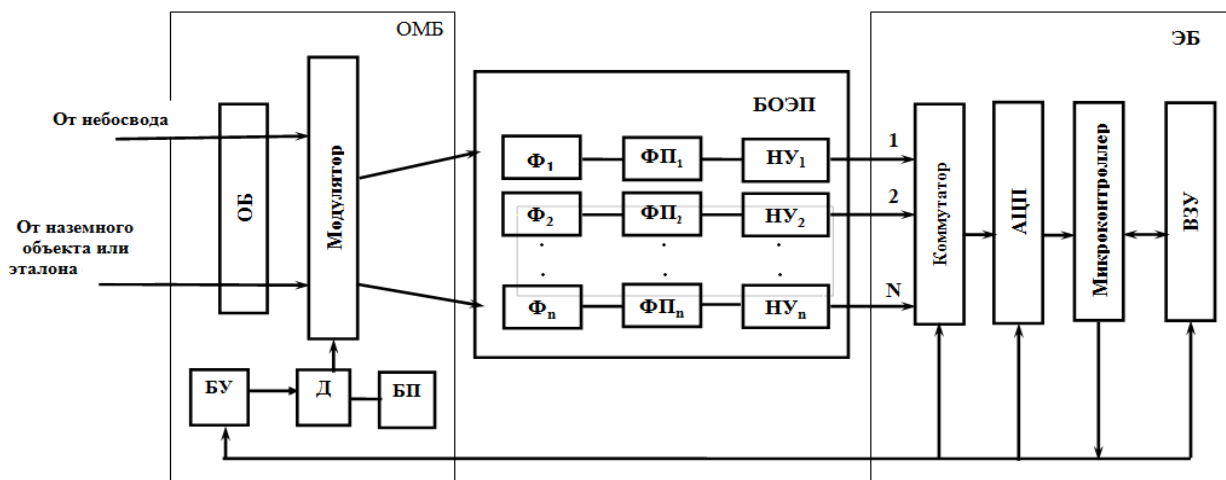


Рис. 1. N-канальный спектрометрический комплекс

Основные требования, предъявляемые к модуляторам: хорошее пропускание света в рабочих спектральных диапазонах; высокая стабильность характеристик и надежность за время эксплуатации; минимальное потребление мощности; минимальные размеры и масса.

Система работает по программе, заранее записанной в резидентной памяти программ микроконтроллера. Из формулы (1) видно, что для классификации исследуемых объектов по характеризующим параметрам КСЯ и СОС необходимы значения яркостей световых потоков, отраженных от объекта или эталонной поверхности, и фонового излучения небосвода.

Вследствие использования систем с параллельно-последовательной структурой, последовательно в N-каналах в соответствующих режимах измеряются вышеуказанные параметры ($L_{об}(\lambda)$, $L_{эт}(\lambda)$, $L_n(\lambda)$). С целью коррекции случайной составляющей ошибки осуществляется десятикратное измерение по каждому каналу и при вычислениях используются средние значения измеряемых параметров.

Таким образом, учитывая скорости носителя системы (в частности беспилотного летательного аппарата), проведение измерений с помощью систем, имеющих структуру, показанную на рис. 1, ведет к увеличению аппаратных затрат, весогабаритных показателей и времени измерения. Кроме того, результаты измерений при этом являются смещенными во времени и в пространстве, что приводит к уменьшению достоверности полученной информации.

Использование механического модулятора в таких системах приводит к увеличению весогабаритных показателей и энергопотребления системы, а также к неполному пропусканию светового потока при вибрации. Инерционность этого узла уменьшает быстродействие и соответственно достоверность результатов измерения.

Основной материал

С целью повышения достоверности результатов измерения и быстродействия спектрометрических комплексов подспутниковых систем, а также

для уменьшения их весогабаритных показателей и энергопотребления представляется целесообразным применение микропроцессоров и микроконтроллеров как в процессе обработки данных и представления результатов, так и в процессе измерения. Это дает возможность проводить предварительную обработку результатов измерения в каждом канале и расчеты с целью коррекции погрешностей измерительного тракта. Высокая скорость летательного аппарата обуславливает необходимость обеспечения высокого быстродействия спектрометрического комплекса. При расположении комплекса на борту беспилотного летательного аппарата эти требования еще более ужесточаются.

Из вышеприведенного выражения для КСЯ, следует, что, увеличивая быстродействие измерения, можно уменьшить воздействие на его результаты N -фактора, что позволяет увеличить достоверность результатов измерений.

Кроме того, известно, что увеличение параметра n (количества каналов) не всегда дает положительный результат из-за того, что не все выбираемые поддиапазоны информативны. Это приводит к нерациональным затратам времени на получение неинформативных данных.

При этом также усложняется структура системы и соответственно уменьшается ее быстродействие [2].

Электрооптические свойства жидких кристаллов позволяют создать электронные устройства, которые могут применяться для решения различных задач, в том числе при создании систем дистанционного зондирования.

Например, применение жидких кристаллов в качестве жидкокристаллических дефлекторов с электронным управлением, обладающих малыми весогабаритными показателями и потреблением энергии, в оптических блоках спектрометрического комплекса дает возможность исключить вышеуказанные недостатки N -канальных спектрометрических комплексов с механическим модулятором.

Исследование наземных объектов спектрометрическими устройствами также требует охвата широких площадей исследования и, следовательно, – увеличения времени эксперимента и уменьшения объема данных, передаваемых в наземный центр.

Кроме того, рациональный выбор поддиапазона исследуемого сигнала позволяет уменьшить поток передаваемой с борта информации и приводит к уменьшению количества используемых измерительных каналов, что, в свою очередь, повышает быстродействие и, следовательно, – достоверность результатов измерений. Для достижения этих целей в БОЭП системы вместо n -каналов используется всего три канала, рассчитанные на пропускание в видимом диапазоне спектра трех основных состав-

ляющих цвета R-красный (Red), G-зеленый (Green) и B-синий (Blue). При этом применяется метод, позволяющий вычислять коэффициенты спектральной яркости с использованием трех основных цветов [10].

Функциональные возможности и доступность современных микропроцессоров и микро-ЭВМ привели к включению вычислительных средств непосредственно в измерительные цепи. Таким образом, программируемые вычислительные средства в настоящее время непосредственно используются при получении результатов измерений.

В результате, при разработке измерительных систем возникает задача разделения функций системы между аппаратными и программными средствами. Рациональное решение этой задачи позволяет расширить функциональные возможности измерительных систем, улучшить их метрологические характеристики и обеспечить выполнение некоторых интеллектуальных функций [11].

Таким образом, в настоящее время при создании измерительных системах отказываются от принципа централизации применяемых вычислительных мощностей и применяют принцип их рационального распределения.

Развитие микропроцессорных средств измерения требует создания соответствующих специализированных программных средств для обеспечения необходимых метрологических характеристик разрабатываемых систем. Решение этих задач является основой дальнейших разработок измерительной техники в направлении ее интеллектуализации.

В предлагаемой спектрометрической системе (рис. 2) решение указанных выше задач осуществляется с помощью микроконтроллерного модуля (МКМ), который непосредственно участвует в процессах измерения и обработки результатов измерений, а также с помощью применения жидких кристаллов в качестве жидкокристаллических дефлекторов (модуляторов с электронным управлением), обладающих малыми весогабаритными показателями и потреблением энергии.

В отличие от многоканальной спектрометрической системы, в предложенной системе ОПБ состоит из двух жидкокристаллических дефлекторов (ЖКД1 и ЖКД2), трех БУ (БУ1 и БУ2 управляют работой соответственно ЖКД1 и ЖКД2, а БУ3 обеспечивает управление жидкокристаллическими светофильтрами).

БОЭП состоит всего из трех измерительных каналов, содержащих жидкокристаллические фильтры, которые пропускают поступающие световые потоки по трем основным цветам (ЖКФ_R, ЖКФ_G и ЖКФ_B), соответствующие ФП (ФП_R, ФП_G, ФП_B) и НУ (НУ_R, НУ_G и НУ_B), а также микроконтроллерные модули МКМ (МКМ_R, МКМ_G и МКМ_B).

Используемый центральный микроконтроллерный модуль (ЦМКМ) имеет внутренний коммутатор и АЦП, поэтому ЭБ состоит из ЦМКМ, ВЗУ и УПП. Как видно из рис. 2 система имеет всего три измерительных канала.

Применяемый в каждом измерительном тракте МКМ осуществляет в каждом канале (без использования блока коммутации для подключения того или иного канала) предварительную обработку резуль-

татов измерений и выполняет соответствующие вычисления для коррекции погрешности каналов, а также производит выбор цвета, пропускаемого жидкокристаллическим светофильтром (если в БОЭП используется два канала рис. 3) и в зависимости от внешних факторов обеспечивает управление шириной полосы пропускания жидкокристаллических фильтров и необходимый режим работы системы.

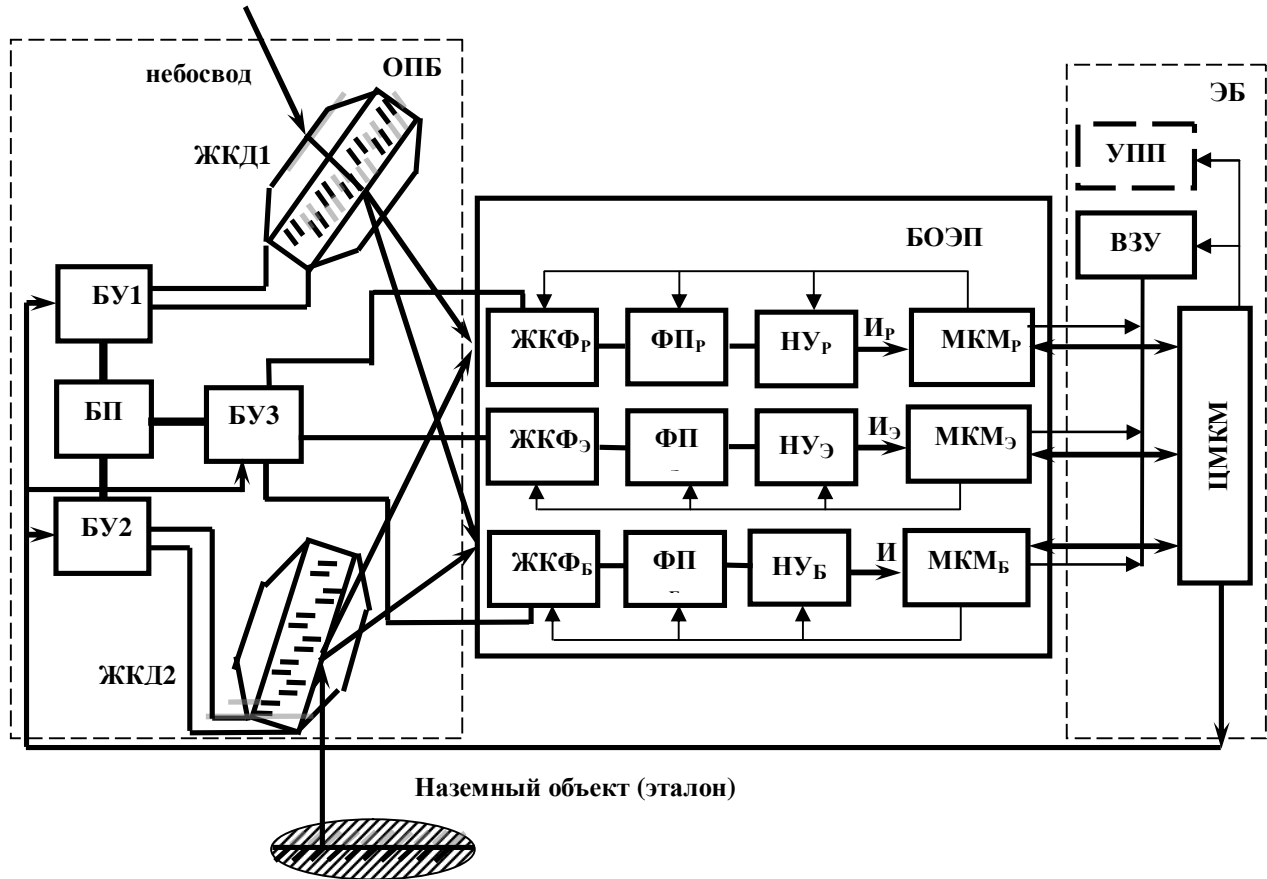


Рис. 2. Структурная схема многомодульной системы

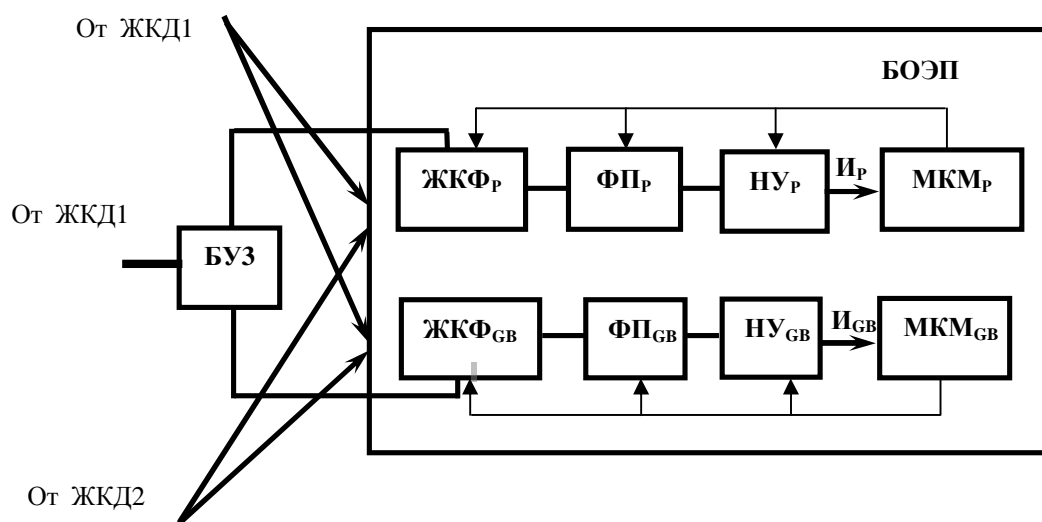


Рис. 3. Структурная схема двухканального БОЭП

Надо отметить, что в рис 2 используются одночастотные, а в рис. 3 – двухчастотные жидкокристаллические фильтры, которые изготавливаются, основываясь на эффекте «гость-хозяин».

Результаты измерений, накопленные в каждом МКМ, по требованию могут быть переданы в ВЗУ или на центральный МКМ, который осуществляет управление всеми блоками системы, выполняет полную обработку данных и при необходимости обеспечивает обмен данными с наземным центром.

В таких системах гибкость структуры обеспечивается использованием программируемых многофункциональных измерительных систем, взаимодействие между которыми обеспечивается соответствующим программным средствами.

Выводы

Таким образом, в отличие от измерительных систем, применяемых в наземных исследованиях, в спектрометрических системах дистанционного зондирования использование интеллектуальности не ограничивается измерением оптико-физических параметров исследуемых объектов, но и обеспечивает учет внешних факторов, влияющих на процесс измерения.

Использование ЖК дефлекторов и ЖК-светофильтров, управляемых от МК, позволяет исключить механический модулятор сложной конструкции и улучшить спектральные характеристики используемых светофильтров. Это дает возможность осуществлять измерения на борту летательного аппарата с относительно высокой точностью и достоверностью.

В заключение отметим, что использование жидкокристаллических преобразователей в спектрометрах в виде жидкокристаллического дефлектора или в виде жидкокристаллического светофильтра, улучшает их качественные показатели (уменьшаются весогабаритные показатели и энергопотребление), При этом функции, выполняемые сложными механизмами модуляции излучения заменяются электронным управлением ЖКД.

По данным с дополнительных датчиков, контролирующих условия измерения, осуществляется автоматический выбор режима измерения и ширина полосы пропускания ЖК-светофильтров. Проведение измерений по такому алгоритму в конечном итоге в определенной степени выполняет задачу интеллектуализации спектрометрического комплекса. Такие бортовые спектрометры являются более универсальными, технологичными и надежными.

В результате обработки измерительных сигналов, отраженных от наземных объектов и эталонной поверхности, определяются коэффициенты спектральной яркости этих объектов, характеризующих их состояние и динамику изменения этих состояний.

По описанным структурам получены четыре патента Азербайджанской Республики.

Список литературы

1. Mirsalimov R.M. Airborne Multichannel Spectrometer with the Electronically-Controlled Luminous Fluxes / R.M. Mirsalimov, L.R. Bekirova // MS 2001-China Proceedings of the International Conference on Modeling and Simulation in Distributed Applications. September 25-27. – Changsha, China, 2001. – P. 633-636.
2. Patent R990028, 14.01.1999. Azərbaycan Respublikası. Yerüstü obyektlərin spektral parlaqlıq əmsalını təyin etmə üsulu / Mirsalimov R.M., Bekirova L.R.
3. Patent İ20030022, 28.01.2003. Azərbaycan Respublikası. Yerüstü obyektlərin spektral parlaqlıq əmsalını ölçən qurğu / Əliyev R.M., Bəkirova L.R.
4. Патенти, П№ И2004 0174, 05.10.04. Азярб. Респ. Йерүстү обьектлярля нязарят етмяк үцин гурьү / Бякирова Л.Р.
5. Кривошеев М.И. Цветовые измерения / М.И. Кривошеев, А.К. Кустарев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240 с.
6. Методы электрических измерений / Л.Г. Журавин, М.А. Мариненко, Е.И. Семенов, Э.И. Цветков; под ред. Э.И. Цветкова. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1990. – 288 с.

Поступила в редколлегию 1.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.К. Мамедов, Азербайджанская государственная нефтяная академия, Баку.

ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ СПЕКТРОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Л.Р. Бекірова

Досліджуються шляхи підвищення швидкодії і достовірності підсупутникових систем, використовуваних при дослідженні наземних об'єктів, оцінці природних ресурсів і контролі екологічного стану навколишнього середовища. Описується апаратне і програмне забезпечення спектрометричних вимірювальних систем і методи вимірювання, що дозволяють забезпечити збільшення швидкодії вимірювань і достовірність отриманих результатів.

Ключові слова: дистанційне зондування, спектрометричні системи, швидкодія, коефіцієнт спектральної яскравості, достовірність інформації.

INCREASE OF FAST-ACTING OF SPECTROMETRY SYSTEM

L.R. Bekirova

The ways of increase of fast-acting and authenticity of the subsatellite systems, used for research of surface objects, estimation of natural resources and control of the ecological state of environment are explored. The vehicle and programmatic providing of the measurements systems of spectrometrys and methods is described measurements, allowing to provide an increase fast-acting of measurements and authenticity of the got results.

Keywords: remote sensing, systems of spectrometrys, fast-acting, coefficient of spectral brightness, authenticity of information.