

**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«АЗЕРБАЙДЖАН ХАВА ЙОЛЛАРЫ»  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ**

---

*На правах рукописи*

**ЛАЛА РУСТАМ КЫЗЫ БЕКИРОВА**

**КОМПЛЕКСНАЯ ДИСТАНЦИОННАЯ СИСТЕМА  
МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ВИДИМОМ И  
ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНАХ СПЕКТРА**

**Специальность: 3324.07 – дистанционные аэрокосмические  
исследования**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени доктора  
наук по технике**

**Баку – 2016**

Диссертация выполнена в Азербайджанском Государственном  
Нефтяном и Индустриальном Университете  
(Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии)

**Научный консультант:**

Академик, д.ф.-м.н., профессор **А.Ш. Мехтиев**

**Официальные оппоненты:**

академик, д.ф.-м.н., профессор **Д.Ш. Абдинов**

д.т.н., профессор **Т.И. Сулейманов**

д.т.н., профессор **Р.Т. Гумбагов**

**Ведущая организация:** Институт Систем Управления  
Национальной Академии Наук Азербайджана

Защита состоится « 11 » ноября 2016 г. в 14<sup>00</sup> часов на  
заседании Диссертационного Совета В/Д 06.001 при Национальной  
Академии Авиации по адресу: AZ-1045, г. Баку, прос.Мардакан 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной  
Академии Авиации.

Автореферат разослан « 7 » октября 2016 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного Совета В/Д 06.001,  
д.ф.т., доцент

**С.Б.Габидуллаев**

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Одним из главных источников информации для экологического мониторинга окружающей среды являются данные дистанционного зондирования (ДЗ). Они могут быть получены с помощью космических, авиационных, в том числе беспилотных, носителей средств многоуровневых измерений.

Аэрокосмическое зондирование предусматривает наряду с черно-белой (панхроматической) съемкой также цветную (спектральную) съемку. Это вызвано, прежде всего, качественным различием решаемых задач. Панхроматическая съемка удовлетворяет основным требованиям топографии и картографии. В то же время для изучения растительного покрова, водных и других объектов более эффективным является использование мультиспектральной съемки.

В настоящее время для решения задач различного характера также используются усовершенствованные версии мультиспектральной аппаратуры, в которых одновременно со спектральными каналами видимого диапазона используются и каналы инфракрасного диапазона электромагнитного спектра. Например, сканирующие радиометры OLI (Operational Land Imager) и TIRS (Thermal Infrared Sensor) входят в состав аппаратуры, установленной на Landsat-8 (2013 год).

Однако из основных нерешенных проблем, ограничивающих применение колориметрических методов в ДЗ, является метамерия цветов в природе. Метамерия, будучи физическим эффектом, воспрепятствующим верному воспроизведению цветов, является неизбежным результатом частотно-зависимой передаточной и отражательной характеристики физических сред, находящихся на пути распространения оптического сигнала, а также широкополосности и неидентичности самих светоприемников и светофильтров, применяемых в колориметрии.

Вместе с тем, задача оперативного экологического мониторинга ставит цель достоверного и раннего обнаружения загрязняющих веществ в продуктах промышленного производства, а также определение мест утечек загрязняющих веществ и состояния окружающей среды для своевременного принятия мер по предотвращению потенциально опасных последствий.

Поэтому разработка методов и средств достоверного колориметрического дистанционного контроля, предусматривающего техническое решение, учитывающее влияние внешних факторов, в том числе метамерии в различных ее проявлениях, позволяет прогнози-

ровать негативные последствия для экологического состояния окружающей среды, а также принимать адекватные решения для их минимизации, что в настоящее время имеет большое значение. Следовательно, разработка новых методов и методик измерения и их алгоритмическо-структурная реализация, предусматривающая комплексное решение задач повышения точности цветового воспроизведения, информативности, достоверности и расширения функциональных возможностей колориметрических систем дистанционного мониторинга окружающей среды является актуальной.

**Состояние проблемы.** Мониторинг окружающей среды является сложной задачей глобального уровня и осуществляется в глобальном, национальном, региональном и локальном масштабах. При этом современные методы и средства дистанционного зондирования, реализуемые с помощью носителей космического или авиационного базирования путем неконтактных (дистанционных) измерений составляют методологическую и техническую базу проводимого мониторинга.

В настоящее время возможность фиксирования излучения в сотнях очень узких спектральных диапазонах обуславливает использование комплексных данных, получаемых от гиперспектральных датчиков космического, авиационного и наземного базирования (ALOS-3 (Япония), HypSIRI (США), EnMap (Германия), PRISMA (Италия), «Ресурс-П» №1 (Россия)). Увеличение количества каналов позволяет получить большой объем информации об исследуемом объекте. Однако сложность визуальной дешифрации этой информации затрудняет получение всей информации от гиперкуба данных. При этом в мульти- и гиперспектральных измерениях из-за неинформативности некоторых диапазонов, приводящей к увеличению объема избыточной информации, часто приводят к неоправданному усложнению структуры системы. По этой причине автоматическая обработка полученных данных и извлечение полезной информации требуют новых подходов, связанных с применением специфических методов и алгоритмов обработки данных, что является предметом обсуждения на научных конференциях и симпозиумах. Вместе с тем, существующие методы получения и обработки рап-, видимых-, мульти- и гиперспектральных видов информации в конкретных исследованиях имеют существенные недостатки.

Современные экспертные оценки потребности в различных видах информации ДЗ Земли показали, что результаты RGB измерений занимают особое место среди результатов измерений, полученных

другими средствами ДЗ (панхроматических, мультиспектральных, гиперспектральных и др.). В то же время, по результатам исследований основных характеристик сенсоров ДЗ, можно сделать вывод о том, что большинство мультиспектральных устройств предназначены также и для работы в режиме RGB измерений.

При решении ряда исследовательских и производственных задач, в том числе в нефтегазовой промышленности, цвет объектов используются в качестве основного показателя качества или состояния технологического процесса. А колориметрические системы имеют особое значение при необходимости дистанционного (бесконтактного) получения информации об объектах.

В экологическом мониторинге также особую важность имеют многоуровневые измерения в расширенном рабочем диапазоне. Так как многие современные системы ДЗ Земли осуществляют измерения в видимой, красной и ближней инфракрасной частях спектра, то для изучения состояния вегетации на Земле в этих системах широко используется метод вычисления нормализованного вегетационного индекса путем измерения отраженных энергий в 2-х спектральных каналах.

Результаты измерений, полученные в инфракрасном (ИК)-диапазоне спектра, также играют важную роль при классификации исследуемых объектов. Тепловое излучение позволяет решить ряд задач при обнаружении растительных участков, пострадавших от болезней и вредителей, обнаруживать загрязнения в море и на суше, а также места утечек нефтепродуктов, осуществлять контроль лесного покрова с точки зрения пожарной безопасности, обнаруживать полезные ископаемые и т.д. При этом для обеспечения высокого пространственного разрешения и геометрической точности в RGB измерениях, целесообразно совместное использование спектральных и панхроматических измерений. С учетом вышесказанного, разработка соответствующих методов получения экологической информации и средств многоуровневых измерений, реализующих эти методы в расширенном рабочем диапазоне, с учетом действующих внешних и внутренних факторов представляет собой важную задачу.

Таким образом, для контроля экологического состояния окружающей среды также целесообразно использование методов ДЗ, работающих как в RGB, так и ИК-диапазонах спектра.

**Цель работы:** Разработка научно-методических основ создания высокоинформативных и многофункциональных многоуровневых

систем мониторинга окружающей среды в видимом и инфракрасном диапазонах спектра.

**В соответствии с указанной целью и состоянием проблемы в работе поставлены и решены следующие задачи:**

1. Разработка методов и средств дистанционного контроля для экологического мониторинга окружающей среды путем построения двухуровневых систем ДЗ колориметрического контроля высокой достоверности, предусматривающих техническое решение проблемы метамерии. Формирование критерия сравнения гиперспектральной цветовой съемки и RGB дистанционной колориметрии. Разработка принципа валидации в многоуровневых RGB колориметрических системах ДЗ.

2. Повышение информативности результатов RGB измерений ДЗ с помощью оптимизации процесса слияния цветных (RGB) и панхроматических изображений путем проведения их совместной обработки.

3. Разработка многоуровневой системы ДЗ RGB и ближних ИК диапазонов, а также разработка обобщенной модели нормализованных дифференциальных индексов для выработки единого подхода к повышению достоверности классификации объектов исследований по результатам измерений, выполненных этой системой.

4. Разработка и исследование метода компенсации внешних факторов (таких, как эффект аэрозольной метамерии, явление остаточного аэрозольного метамеризма и турбулентности атмосферы) при дистанционных колориметрических измерениях.

5. Разработка аппаратурных способов коррекции влияния атмосферного аэрозоля на воспроизведение цветности в дистанционной колориметрии. Минимизация влияния изменчивости атмосферного аэрозоля на информативность спутниковых мультиспектральных данных.

6. Разработка и исследование метода высотной компенсации эффекта альбедной метамерии в целях повышения достоверности дистанционных колориметрических измерений цвета морской поверхности. Разработка и исследование метода дистанционного колориметрического обнаружения нефтяных пятен на морской поверхности с преобработкой исходного сигнала с целью учета влияния атмосферного аэрозоля.

7. Разработка способа определения коэффициента спектральной яркости объектов на основе результатов RGB измерений. Разработка методов и устройств восстановления колориметрических данных на

промежуточных длинах волн на основе результатов измерения интенсивности трех основных и трех промежуточных цветов.

8. Разработка методических основ применения жидкокристаллических блоков в целях повышения информативности колориметрических систем, создание методической основы построения многофункциональных цветоизмерительных систем в видимом и ближнем ИК-диапазоне.

9. Разработка методики технической диагностики магистральных трубопроводов с помощью структурно-алгоритмических решений ИК-RGB систем.

10. Разработка методов и устройств систем ДЗ на основе многофункциональных ЖК-модулей, используемых в качестве дефлектора, модулятора и светофильтра для улучшения технических характеристик спектрометрической системы и расширения ее функциональных возможностей.

11. Разработка многофункциональной системы и методики измерений в видимом и ИК диапазоне, позволяющих оперативного изменения алгоритмов работы и структур системы с учетом особенностей объекта исследования и воздействия внешних и внутренних факторов.

**Методы исследования.** В процессе решения поставленных задач были использованы соответствующие положения атмосферной оптики, физической оптики, колориметрии, математического анализа, теории оптимизации, теории спектральных измерений и теории информационно-измерительных систем.

#### **Научная новизна.**

1. Предложен критерий целесообразности выбора гиперспектральной цветовой съемки или RGB дистанционной колориметрии, а также математическая формулировка условия валидации в многоуровневых RGB системах.

2. Решена задача оптимизации процесса слияния RGB и панхроматических изображений для повышения информативности результатов RGB измерений. Предложена обобщенная модель нормализованных дифференциальных индексов на основе данных разработанных систем мониторинга окружающей среды в видимом и ближнем ИК диапазоне спектра и ее трансформированный вариант с повышенной помехоустойчивостью, обеспечивающие единый подход к классификации объектов исследования.

3. Предложен метод компенсации эффекта аэрозольной метамерии и остаточного аэрозольного метамеризма при дистанционных

колориметрических измерениях и метод синтеза дистанционной спектрометрической цветоизмерительной системы с учетом турбулентности атмосферы.

4. Предложены аппаратные методы коррекции влияния атмосферного аэрозоля на воспроизведение цветности в дистанционной колориметрии и метод минимизации влияния изменчивости атмосферного аэрозоля на информативность спутниковых мультиспектральных данных.

5. Предложены метод высотной компенсации эффекта альбедной метамерии, обеспечивающий повышение достоверности результатов дистанционной колориметрии цвета морской поверхности и метод колориметрического обнаружения на ней нефтяных пятен с учетом цветоискажающего влияния мелкодисперсного атмосферного аэрозоля.

6. Предложен метод вычисления коэффициента спектральной яркости объектов для промежуточных значений длин волн на основе результатов RGB измерений и структурно-алгоритмическая модель ее реализации. Предложен колориметрический метод и система измерения интенсивности основных и трех промежуточных цветов, а также суммарного светового потока, позволяющие восстановить данные на других промежуточных длинах волн.

7. Предложена структурно-алгоритмическая модель многофункциональной системы с разделением процесса управления измерительным трактом и процесса бортовой обработки информации, позволяющая совместить процессы получения и обработки данных, повышения их достоверности и информативности колориметрической системы в целом, а также минимизацию наземной обработки данных.

8. Разработаны методические основы построения многофункциональной системы ИК и RGB диагностики магистральных нефтепроводов и структурно - алгоритмическая модель ее реализации.

9. Предложены структурно - алгоритмические модели системы на основе двухчастотных жидкокристаллических модулей, что улучшает технические характеристики системы и обеспечивает ее многофункциональность.

10. Разработана методика выбора алгоритма функционирования и структуры системы с учетом особенностей объекта исследования и условий его местонахождения, а также структурно - алгоритмическая модель ее реализации.

#### **Практическая ценность.**

1. Многофункциональность бортовых колориметрических систем, коррекция влияния внешних факторов и аппаратная компенсация



искажений цветности обеспечивает повышение достоверности полученных данных. Слияние панхроматических изображений, обладающих высоким разрешением, и RGB цветowych изображений с низким разрешением, полученных в многофункциональной бортовой системе, дает возможность повысить достоверность воспроизведения цветных сцен с повышенным геометрическим разрешением.

2. Предложенные практические методы компенсации искажений цветности из-за влияния аэрозоля совместно с предложенной структурно-программной реализацией этих методов, позволяет достигнуть совмещения данных, полученных от трех оптических блоков, расположенных на одном носителе под разными углами обзора и осуществляющих измерения на трех длинах волн. На практике это обеспечивает повышение достоверности полученных цветowych данных и позволяет повысить эффективность принимаемых на основе этих данных решений.

3. Применение структурно-алгоритмических моделей, с помощью которых в процессе измерения осуществляется обработка и представление данных, позволяет повысить быстродействие спектрометрических систем, учитывать влияние внешних факторов, осуществлять организацию и коррекцию измерительного процесса, а также бортовую обработку в каждом канале. Разделение процессов управления измерительным трактом, обработки данных и представления результатов позволяет улучшить метрологические и эксплуатационные характеристики системы.

4. Предложенные практические методы устранения влияния альбедного и аэрозольного метамеризма, методы учета влияния турбулентности, а также методика определения оптимальных высот, на которых производятся измерения, обеспечивают минимальное эквивалентное ослабление RGB сигналов и позволяют повысить эффективность колориметрических систем и улучшить их метрологические характеристики.

5. Предложенная методика и алгоритмы ее реализации с использованием результатов RGB и ИК измерений позволяют определять границы сильно загрязненных участков, возникающих из-за утечек в результате различных причин при транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам. Дешифрация ИК данных с помощью условных и реальных RGB цветов дает возможность визуализации данных и позволяет повысить достоверность определения координат и степени загрязнения территории.

### **Реализация результатов работы.**

Диссертационная работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории «Информатика и автоматизация управления» при кафедре ИИКТ АГНА в рамках госбюджетных научно-исследовательских работ (Гос. рег. № 0101 Az00309, Гос.рег. №0106 Az 00167, Гос. рег. № 0111Az2039) (имеется акт внедрения).

Система, разработанная на основе предложенных в диссертационной работе методов, использована при комплектации и модернизации самолетных информационно-измерительных систем в Институте Космических Исследований Природных Ресурсов Национального Аэрокосмического Агентства Министерства Оборонной Промышленности (имеется акт внедрения).

Результаты теоретических и практических исследований, выполненных в диссертационной работе, используются в учебном процессе (имеется акт внедрения).

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Критерий выбора гиперспектральной цветовой съемки или RGB дистанционной колориметрии для аэрокосмического мониторинга. Принцип валидации результатов системы верхнего уровня в многоуровневых RGB колориметрических системах ДЗ с помощью использования результатов системы нижнего уровня.

2. Метод оптимизации слияния RGB и панхроматических изображений для повышения информативности результатов RGB измерений и структурно-алгоритмические методы его реализации. Структурная модель системы видимого и ближнего ИК диапазона и обобщенная модель нормализованных дифференциальных индексов и ее трансформированный вариант на основе данных, полученных предложенной системой.

3. Метод компенсации эффекта аэрозольной метамерии в колориметрическом зондировании. Метод получения достоверной информации о цвете исследуемого объекта путем минимизации остаточного метамеризма и с учетом турбулентности атмосферы.

4. Метод минимизации влияния изменчивости атмосферного аэрозоля на информативность мультиспектральных данных. Структурно-алгоритмические методы коррекции влияния атмосферного аэрозоля на воспроизведение цветности при дистанционных колориметрических измерениях.

5. Метод высотной компенсации эффекта альбедной метамерии при дистанционной колориметрии цвета морской поверхности. Метод

колориметрического обнаружения нефтяных пятен на морской поверхности.

6. Способ определения коэффициента спектральной яркости объекта на промежуточных длинах волн на основе RGB измерений и его структурно – алгоритмическая реализация.

7.Метод измерения интенсивности излучения на основе двухчастотного жидкокристаллического модуля и его структурно – алгоритмическое решение в видимом и ИК диапазонах с возможностью получения промежуточных цветов, повышающих информативность многофункциональной колориметрической системы.

8. Структурная модель и алгоритм работы многофункциональной спектрометрической системы с разделением процесса управления измерительным трактом и процесса бортовой обработки информации, позволяющие повысить достоверность полученных данных и информативность системы, а также упростить процесс окончательной обработки данных.

9. Методологические основы построения диагностической системы RGB-ИК и ее структурно-алгоритмической модели с использованием двухчастотного жидкокристаллического модуля, позволяющие улучшить технические характеристики системы и расширить ее функциональные возможности.

10. Методика выбора алгоритма работы и структуры системы с учетом особенностей объекта исследования, его расположения на местности, а также внешних и внутренних факторов, влияющих на результаты измерений и ее структурно – алгоритмическое решение.

**Апробация работы.** Основные теоретические и практические результаты диссертации были доложены, обсуждены и одобрены на следующих конференциях и симпозиумах: IV Международная научно-практическая конференция “Хазарнефтегазятар-2000” 10-13 Октябрь, Баку, 2000; Electrical, Electronic&Computer Engineering Symposium Near East University KTMMOB – Chamber of Electrical Engineers 23-25 May, 2001, Lefkosha TRNC; Akademik Həsən Əliyevin 95 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi-praktik konfrans, Bakı – 2002; International Conference on MODELING AND SIMULATION IN DISTRIBUTED APPLICATIONS (MS’2001) 25-27September, 2001, Changsha, China; EPMR-2002 International Conference Environmental Problems of the Mediterranean Region. 12-15 April 2002 NEUNicosia-Northern Cyprus; “AZƏRBAYCAN – müstəqillikdən sonra” Beynəlxalq konfransı. Bakı, 3-4 mart 2003; “İnformasiyalaşdırma, kibernetika və informasiya texnologiyalarının müasir problemləri” Respublika elmi konfransı. AR MEA Kibernetika İnstitutu

İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu. Bakı, 28-30 aprel 2003-cü il; “Azərbaycan Hava Yolları” Dövlət Konserni, MAA, Milli Aviasiya Akademiyasının rektoru, akademik Arif Mircəlal oğlu Paşayevin anadan olmasının 70 illiyinə həsr olunan “Mülki aviasiyanın müasir problemləri” Respublika Elmi-Texniki Konfransı, 3-4 fevral, Bakı-2004; Пятая международная научно-практическая конференция Современные информационные и электронные технологии, 17-21 мая, Одесса, Украина 2004; Юбилейная международная научно-техническая конференция, посвященной 70-летию академика А.Ш.Мехтиева «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании» 20-23 декабря, Баку 2004; International Measurement Confederation IMEKO Technical Committee on Measurement Science-TC-7 AMS'04 PROCEEDINGS 10<sup>th</sup> IMEKO TC-7 International Symposium on Advances of Measurement Science June 30-July 2, 2004, Sainkt-Petersburg, Russia; Elm və təhsildə informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının tətbiqi. Beynəlxalq konfrans. Bakı, 16-17 sentyabr 2004; Проблемы современной гражданской авиации. Юбилейная международная научно-техническая конференция, посвященной 15-летию Национальной Академии Авиации Азербайджана. Баку.2007; Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и компьютерная инженерия», г. Винница, Украина, 19-21 мая 2010; II международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и компьютерная инженерия», г. Харьков, Украина, 26-27 мая 2011; Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития IT-индустрии» 17 – 18 ноября 2011 г. Харьков; III міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та захист інформації», м.Харків, 20 – 21 квітня 2012; V Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития IT-индустрии» 25 – 26 апреля 2013г. г. Харьков.

**Публикации.** По результатам диссертационной работы опубликовано 53 печатных работ, из них 5 - Патенты Азербайджанской Республики (1 без соавторов), 37 статьи в журналах, входящих в список ВАК, из них 26 - в зарубежных (14 без соавторов) и 11 в республиканских (7 без соавторов), 12 - в трудах международных и республиканских конференций и симпозиумов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и основных результатов. Основной текст изложен на 261 странице (всего 282 стр.), содержит 79 рисунков и 9 таблиц. Список литературы включает 216 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, проанализировано современное состояние проблемы, формулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

**Первая глава** посвящена современному состоянию и методологическому обоснованию направлений развития многоуровневых систем аэрокосмического мониторинга в видимом диапазоне. С этой целью представлено современное состояние и классификация существующих колориметрических дистанционных измерительных систем и осуществлена сравнительная информационная оценка и валидация результатов измерений, выполненных с помощью этих систем.

Отмечено, что одной из основных причин ограниченного применения RGB колориметрии в ДЗ, является эффект метамеризма. Поэтому разработка новых методов и средств, дающих возможность решения указанных проблем в аэрокосмическом мониторинге для осуществления надежного колориметрического контроля, является актуальной.

Метамеризм проявляет себя в идентичном восприятии кажущихся цветов объектов, имеющих различные спектральные распределения мощности. В то же время такие преимущества RGB колориметрических систем в качестве систем ДЗ, как меньший объем передаваемой информации, возможность устранения фактора субъективного восприятия исследователя и относительно высокое пространственное разрешение и т.д. обуславливает эффективность их использования при ДЗ.

В данной главе отмечается, что в технической литературе отсутствуют четкие критерии, по которым можно было бы определить целесообразность выбора гиперспектральной цветовой съемки или RGB дистанционной колориметрии по критерию минимальных потерь измерительной информации.

Показано, что условие предпочтения RGB колориметров можно сформулировать следующим образом:

$$M_{RGB} > M_{hyper} \quad (1)$$

где  $M_{RGB}$  - количество измерительной информации, получаемой с помощью RGB измерителя в течение одной строки развертки;  $M_{hyper}$  - количество информации, получаемой с помощью гиперспектрометра.

Предложен принцип валидации в многоуровневых RGB

колориметрических системах ДЗ. Согласно этому принципу валидация RGB колориметрических данных системы верхнего уровня может быть осуществлена при дополнении системы RGB верхнего уровня системой второго (наземного) уровня при организации корреляционного метода сверки RGB компонентов. При этом при наличии информации о спектральной радиации на входах RGB колориметров, значения ошибок определения цветов ( $\Delta R, \Delta G, \Delta B$ ), возникающих из-за метамерии могут быть определены по достижению максимума на выходе корреляционного вычислителя, осуществляющего валидацию данных.

Получено следующее условие валидации результатов двухуровневых RGB измерений с высокой достоверностью

$$\left. \begin{aligned} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [E_1(\lambda) - E_2(\lambda)]x(\lambda)d\lambda &= \Delta R_1 - \Delta R_2 \\ \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} [E_1(\lambda) - E_2(\lambda)]y(\lambda)d\lambda &= \Delta G_1 - \Delta G_2 \\ \int_{\lambda_5}^{\lambda_6} [E_1(\lambda) - E_2(\lambda)]z(\lambda)d\lambda &= \Delta B_1 - \Delta B_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $E_1(\lambda)$ - интенсивность входной радиации верхней системы;  $E_2(\lambda)$ - интенсивность входной радиации нижней системы;  $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ - «tristimulus» функции;  $\Delta R_1, \Delta G_1$  и  $\Delta B_1$  искажение цветов из-за метамерии в верхней системе,  $\Delta R_2, \Delta G_2$  и  $\Delta B_2$  - во нижней системе.

На основе данных видимого и ближнего ИК диапазона для выработки единого подхода к достоверной классификации объектов исследований разработана обобщенная модель нормализованных дифференциальных индексов в виде

$$NDOI = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (3)$$

Предлагается трансформированный вариант обобщенного нормализованного дифференциального индекса с повышенной помехоустойчивостью (среднеквадратическое отклонение трансформированного  $S(z)$  в 3 раза ниже, чем среднеквадратическое отклонение  $NDVI(z)$ ).

Рассмотрены особенности разработки многоуровневых систем видимого диапазона для повышения эффективности аэрокосмического мониторинга.

Проведенные в первой главе работы анализ и полученные результаты позволил определить направления исследований, результаты которых описаны в последующих главах диссертации.

**Вторая глава** диссертационной работы посвящена исследованию влияния внешних факторов на аэрокосмический мониторинг окружающей среды и разработке способов повышения точности и достоверности его результатов.

Проанализировано влияние внешних факторов, в том числе атмосферного аэрозоля, на аэрозольную погрешность трех RGB вегетационных индексов. Показано, что аэрозольная погрешность RGB вегетационных индексов  $ExG$ ,  $CIVE$  и  $VVI$ , с учетом принятых допущений о крупнодисперсном характере атмосферного аэрозоля, приблизительно одинакова и равна  $\tau_a$ .

Далее во второй главе рассмотрены задачи минимизации влияния изменчивости атмосферного аэрозоля на информативность спутниковых мультиспектральных изображений. Решение этих задач позволяет повысить достоверность полученных данных.

Дана информационная оценка влияния вариаций оптической толщины аэрозоля при проявлении эффекта многомодальности функции распределения массы аэрозоля по размерам.

Задача исследования заключается в определении такой функции волновой зависимости оптической толщины аэрозоля, при которой прирост информативности из-за влияния аэрозоля был бы минимальным. Для решения поставленной задачи интегральная энтропийная оценка результирующей радиации  $R$  (кажущееся отражение от поверхности Земли) с использованием известного уравнения переноса радиации функционал цели имеет следующий вид:

$$F_I = \int_0^{\lambda_{max}} \ln [R_0 + (e^{\tau(\lambda)} - I) \cdot P] e^{-\tau(\lambda)} d\lambda, \quad (4)$$

где  $\lambda$  - длина волны;  $R_0$  - значение интенсивности излучения, отраженного от поверхности Земли;  $(e^{\tau} - I)$  - коэффициент усиления интенсивности излучения, отраженного от аэрозоля;  $P$  - фазовая функция рассеяния аэрозоля;  $e^{\tau}$  - коэффициент ослабления излучения при его прохождении через аэрозольный слой атмосферы;  $\tau$  - оптическая толщина атмосферного аэрозоля.

Определена оптимальная функция  $\tau(\lambda)$ , при которой функционал цели (4) достигает минимального значения

$$\tau(\lambda) = \ln \left[ \frac{C_1 P - C_1 R_0}{C_1 P - P + R_0} \right], \quad (5)$$

где  $C_1 = \text{const}$ .

Далее, во второй главе исследуется эффект аэрозольной метамерии в дистанционной колориметрии и предлагаются вычислительные методы для устранения этого эффекта.

Для анализа эффекта аэрозольной метамерии рассмотрена упрощенная модель передачи радиационных потоков в ДЗ. Отмечается, что в реальном случае ДЗ учет аэрозольной загрязненности атмосферы может быть осуществлен путем замены  $E(\lambda)$  на спектральную характеристику эквивалентного источника  $E_{ekv}(\lambda)$ , расположенного ниже аэрозольного слоя. При этом спектральная характеристика эквивалентного источника имеет следующий вид

$$E_{ekv}(\lambda) = E(\lambda) \cdot e^{-\tau_{aer}(\lambda)}, \quad (6)$$

где  $\tau_{aer}(\lambda)$  - оптическая толщина атмосферного аэрозоля, определяемая по формуле Ангстрема

$$\tau_{aer}(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}, \quad (7)$$

где  $\beta$  - аэрозольная мутность атмосферы;  $\alpha$  - параметр Ангстрема.

С учетом выражений (6) и (7) уравнения координат цвета X, Y и Z, предложен параметрический метод компенсации эффекта аэрозольной метамерии для дистанционного колориметрического зондирования. Введены приведенные ниже промежуточные параметры преобразования:

$$S_1 = \frac{[E(\lambda_1) \cdot \rho(\lambda_1) \cdot \bar{x}(\lambda_1)]^{z_1} \cdot [E(\lambda_2) \cdot \rho(\lambda_1) \cdot \bar{x}(\lambda_2)]^{z_2}}{E(\lambda_3) \cdot \rho(\lambda_3) \cdot \bar{x}(\lambda_3)}, \quad (8)$$

$$S_2 = \frac{[E(\lambda_1) \cdot \rho(\lambda_1) \cdot \bar{y}(\lambda_1)]^{z_1} \cdot [E(\lambda_2) \cdot \rho(\lambda_1) \cdot \bar{y}(\lambda_2)]^{z_2}}{E(\lambda_3) \cdot \rho(\lambda_3) \cdot \bar{y}(\lambda_3)}, \quad (9)$$

$$S_3 = \frac{[E(\lambda_1) \cdot \rho(\lambda_1) \cdot \bar{z}(\lambda_1)]^{z_1} \cdot [E(\lambda_2) \cdot \rho(\lambda_1) \cdot \bar{z}(\lambda_2)]^{z_2}}{E(\lambda_3) \cdot \rho(\lambda_3) \cdot \bar{z}(\lambda_3)}. \quad (10)$$

Решение системы уравнений (8)-(10) позволяет определить искомые значения  $E(\lambda_1) \cdot \rho(\lambda_1)$ ;  $E(\lambda_2) \cdot \rho(\lambda_2)$ ;  $E(\lambda_3) \cdot \rho(\lambda_3)$ , что, в свою очередь, дает возможность восстановить искомую цветность исследуемого объекта.

Предложены методы аппаратурной коррекции влияния атмосферного аэрозоля на воспроизведение цветности в дистанционной колориметрии. Для устранения искажений цветов R, G, B вследствие



зависимости  $\tau_a$  от  $\lambda$  предложены следующие способы компенсации:

1. Изменение  $\mu_s$  для компенсации искажения цветности.

Получено следующее условие изменения  $\mu_s$

$$\frac{1}{\mu_s} = \frac{\text{const} \cdot \lambda^\alpha}{\beta} - \frac{z}{z_{\text{ekv}} \cdot \mu_v}, \quad (11)$$

где  $z$  - высота полета носителя;  $z_{\text{ekv}}$  - эквивалентная высота атмосферы.

2. Изменение  $z$  для компенсации искажений цветности. Из выражения (11) имеем

$$z = z_{\text{ekv}} \cdot \mu_v \left[ \frac{\text{const} \cdot \lambda^\alpha}{\beta} - \frac{1}{\mu_s} \right]. \quad (12)$$

3. Изменение параметра  $\mu_v$  для компенсации искажений цветности. Из выражения (12) имеем

$$\mu_v = \frac{\beta \mu_s z}{(\mu_s \cdot \text{const} \cdot \lambda^\alpha - \beta) z_{\text{ekv}}}. \quad (13)$$

Вариант реализации различных по значению  $\mu_{vR}$ ;  $\mu_{vG}$  и  $\mu_{vB}$  на одном носителе путем установки трех спектрометров под разными углами обзора показан на рис. 1.

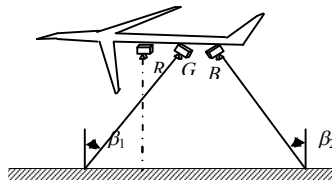


Рис. 1. Вариант реализации RGB камер на носителе с разными зенитными углами обзора

Рассмотрен эффект альбедной метамерии в дистанционной колориметрии цвета поверхности моря и предлагается метод устранения этого эффекта. Задача компенсации альбедной метамерии сводится к задаче компенсации аэрозольной метамерии. Преимущество предлагаемого метода заключается в более высокой степени изученности моделей атмосферного аэрозоля, что позволяет легко вычислить параметры  $h_{Rx}$ ,  $h_{Gx}$  и  $h_{Bx}$ .

Предлагается метод колориметрического мультиспектрального обнаружения нефтяных пятен на морской поверхности. При этом показано, что при наличии аэрозольной загрязненности суммарная

радиации на выходе дистанционного измерителя будет отличаться от суммарной радиации без аэрозольной атмосферы.

Показано, что при доминировании в атмосфере крупнодисперсного аэрозоля общий порядок идентификации толщины нефтяной пленки на поверхности морской воды не нарушается.

Далее, во второй главе рассмотрены вопросы учета влияния остаточной аэрозольной метамерии при дистанционных колориметрических измерениях. Показано, что применительно к дистанционной *RGB* колориметрической системе остаточный метамеризм заключается в искажении *RGB* цветовых составляющих из-за неточности модели Ангстрема для вычисления оптической толщины аэрозоля.

Во второй главе также предлагается метод синтеза оптимальной дистанционной спектрометрической цветоизмерительной системы с учетом турбулентности атмосферы. Отмечается, что измерение цветности в конкретной точке осуществляется многократно с одного носителя с некоторым временным интервалом. При этом на разных каналах может быть осуществлено разное количество измерений. Требуется найти оптимальную функцию  $N = N(\lambda)$ , где  $N$  количество проводимых измерений на длине волны  $\lambda$ , при которой предлагаемый энерго-энтропийный функционал  $F$  достигает максимальной величины. Получено следующее решение вышеуказанной задачи оптимизации

$$N(\lambda)_{opt} = \frac{C \sqrt{K C_n^2 k^{7/6} L^{11/6}}}{\Delta \lambda} = \frac{(2\pi)^{7/12} \cdot C \sqrt{K C_n^2 L^{11/6}}}{\Delta \lambda \cdot \lambda^{7/12}}. \quad (14)$$

Далее в второй главе рассмотрен вопрос оптимизации трансформации *RGB* сигналов в результате их совместной обработки при слиянии *RGB* и панхроматических изображений с целью повышения информативности результатов ДЗ.

Показана принципиальная возможность оптимизации процесса слияния *RGB* и панхроматических изображений путем надлежащего выбора функциональной зависимости между значениями сигналов мультиспектральных каналов при наличии определенного ограничительного условия.

Отмечается, что решение таких трудоемких задач, как получение качественных изображений с повышенной достоверностью и геометрическим разрешением можно осуществить слиянием сигнала панхроматического канала и результатов *RGB* измерений с низким

разрешением. При этом одновременно с повышением информативности системы можно использовать готовые RGB системы в качестве подсистем.

**Третья глава** диссертационной работы посвящена методологическим и структурным решениям для улучшения метрологических характеристик двухуровневых RGB систем ДЗ.

Разработаны методы и средства повышения достоверности результатов измерений трехканальных RGB систем дистанционного мониторинга. Отмечается, что адекватное воспроизведение спектральных характеристик с помощью минимального числа каналов, полностью отражающих состояние исследуемого объекта, является важной задачей спектрометрических измерений при ДЗ.

Исследована задача определения коэффициента спектральной яркости объектов (КСЯ) с помощью спектральных характеристик RGB каналов. При спектрометрических измерениях цветности объектов определяются интенсивности (яркости) монохроматических спектральных цветов.

Получена формула для КСЯ в следующем виде:

$$КСЯ_{\lambda_i} = \frac{\overline{R_{o\delta}}(\lambda_i)L_{Roo} + \overline{G_{o\delta}}(\lambda_i)L_{Goo} + \overline{B_{o\delta}}(\lambda_i)L_{Boo}}{\overline{R_{эм}}(\lambda_i)L_{Rээ} + \overline{G_{эм}}(\lambda_i)L_{Gээ} + \overline{B_{эм}}(\lambda_i)L_{Bээ}}, \quad (15)$$

где  $L_{Roo}, L_{Goo}, L_{Boo}$  и  $L_{Rэм}, L_{Gэм}, L_{Bэм}$  - спектральные яркости основных цветов, образующих данный цвет объекта и эталона;  $\overline{R_{o\delta}}(\lambda_i), \overline{G_{o\delta}}(\lambda_i), \overline{B_{o\delta}}(\lambda_i)$  и  $\overline{R_{эм}}(\lambda_i), \overline{G_{эм}}(\lambda_i), \overline{B_{эм}}(\lambda_i)$  - специальные коэффициенты, определяемые по интенсивности падающего светового потока, коэффициентам отражения объекта и эталона и координатам цвета  $i$ -ой длины волны.

Предложенный метод и его структурно-алгоритмическое решение повышает быстродействие спектрометрической системы и дает возможность уменьшить весо-габаритные показатели ее опико-электронного блока.

Проанализированы вопросы построения многофункционального спектрометра с многофункциональными жидкокристаллическими (ЖК) дефлекторами. Отмечается, что управление электрооптическими свойствами ЖК блоков позволяет исключить отрицательное влияние шумов и помех механического модулятора на результаты измерений, улучшить отношение сигнал/шум, повысить стабильность характеристик и надежность, а также осуществить измерения с большой точностью и достоверностью.

Рассматриваются вопросы построения многопроцессорных структур и алгоритм работы *RGB* колориметрических систем ДЗ. Отмечается, что уменьшение количества измерительных каналов в бортовых *RGB* системах по сравнению с мультиспектральными системами увеличивает быстродействие системы и уменьшает объем избыточной информации. Вместе с тем при достаточно высокой скорости перемещения носителя для осуществления необходимых промежуточных преобразований в *RGB* системах необходимо обеспечить отдельную реализацию задач управления и обработки информации. Такое решение позволяет повысить достоверность полученной конечной информации и более производительнее осуществлять зондирование изучаемых объектов.

Приведена структурная схема многоканальной системы с использованием одночастотных и двухчастотных (рис.2.) жидкокристаллических фильтров, использующих эффект «гость-хозяин».

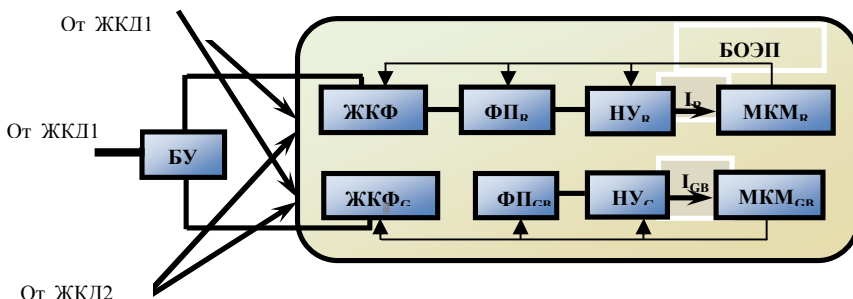


Рис.2. Структурная схема двухканального БОЭП

Применяемый в каждом измерительном тракте микроконтроллерный модуль (МКМ) осуществляет в каждом канале предварительную обработку результатов измерений и выполняет соответствующие вычисления для коррекции погрешности каналов. МКМ также производит выбор цвета, пропускаемого ЖК светофильтром и, в зависимости от внешних факторов, обеспечивает управление полушириной полосы пропускания ЖК фильтров и режимом работы системы. Он также обеспечивает передачу данных в ВЗУ или на центральный МКМ (ЦМКМ), который осуществляет управление всеми блоками системы, выполняет полную обработку данных и при необходимости обеспечивает обмен данными с наземным центром.



смещения полученных результатов во времени и в пространстве уменьшается достоверность информации. Поэтому проблема выбора информативных длин волн должна рассматриваться не только как техническая задача, но и как задача методологического характера.

Другой подход к решению задач основан на специфике жидкокристаллических узлов, которые позволяют выполнять функцию светофильтров и электронное управление режимами работы системы.

В результате, на основе эффекта «гость-хозяин», в одном канале осуществляется фильтрация, соответствующая двум цветам, и это позволяет получить некоторые промежуточные цвета, которые обуславливают дополнительную информативность колориметрической системы.

Совместное использование технических и программных средств позволяет осуществить коррекцию результатов измерений, полученных расчетным путем и повысить их точность.

**Четвертая глава** диссертационной работы посвящена структурным и алгоритмическим способам обеспечения многофункциональности и высокоинформативности систем дистанционного зондирования в видимом и инфракрасном диапазонах спектра.

Предлагается структурная схема и алгоритм функционирования спектрометрической системы, обеспечивающей контроль над внешними параметрами и минимизацию их влияния на основе специально разработанных программ. При этом контролируя внешние и внутренние факторы непосредственно в процессе измерения, обеспечивается возможность повышения достоверности результатов измерений.

Отмечается, что для обеспечения информативности многофункциональные интеллектуализированные системы контроля обладают следующими группами рабочих функций: вычислительные функции; функции управления; функции обеспечения связи с пользователем.

Рассмотрены методические и технические вопросы осуществления коррекции искажения цветности в *RGB* системах, вызванных влиянием атмосферного аэрозоля в процессе измерения. Предложенные структурные модели и алгоритмическое решение исключает необходимость дополнительной обработки для требуемой комплектации полученных данных при процессе классификации объектов.

Процесс последовательного сканирования во времени наземного объекта (НО) представлен на рис. 4. Из рис. видно, что при проведении измерений с помощью трехканальных систем на носителе с разными

зенитными углами обзора полученные по этим каналам данные будут соответствовать разным значениям физических точек  $FT_i(FT_{i-1}, FT_i, FT_{i+1})$ , т.е. будут пространственно смещены.

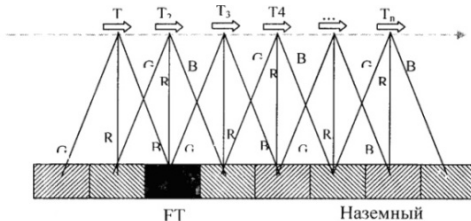


Рис. 4. Сканирование наземного объекта с помощью RGB камер

После полной обработки полученных данных при их комплектации требуется специальная дополнительная обработка, чтобы результаты измерений всех трех каналов соответствовали одному и тому же  $FT_i$ . Для этого при каждом  $i$ -м измерении результаты измерений по каждому из каналов сопровождаются идентификаторами (значениями моментов времени измерений), что приводит к нерациональному использованию ресурсов памяти при эксперименте. Разработана структурная схема и алгоритм работы системы (рис.5), где коррекция осуществляется с помощью структурно-программных решений.

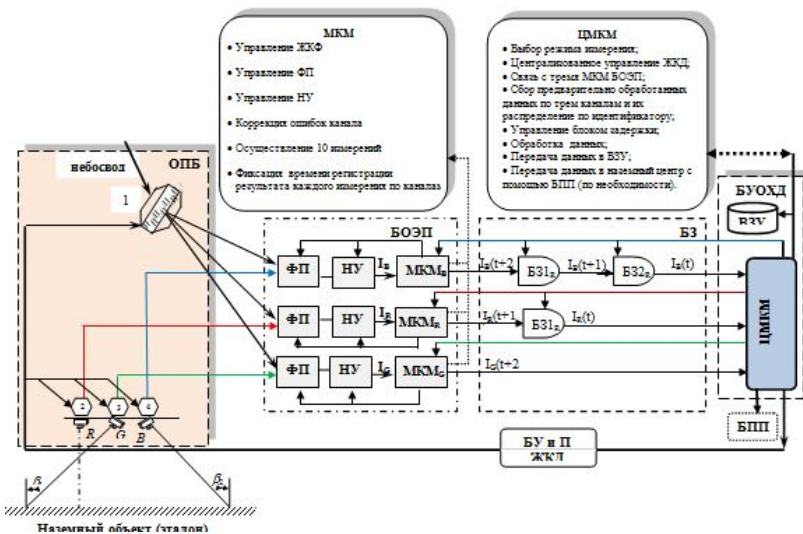


Рис.5. Структура многомодульной системы коррекции данных с RGB камер на носителе с разными зенитными углами обзора

спектрометрической системы, совмещающий *RGB* измерения с измерениями в ближнем ИК диапазоне. При этом модифицированные системы ДЗ состоят из четырех основных измерительных каналов. Два из них предназначены для проведения измерений двух цветов и суммарного потока света в видимом диапазоне с помощью МКМ1 и МКМ2. А два других канала предназначены для проведения измерений в ближних ИК диапазонах спектра (рис.6.).

При этом распространенным методом исследования растительности является вычисление нормализованного вегетационного индекса (*NDVI*), который показывает наличие и состояние растительности по соотношению отраженных энергий в 2 спектральных каналах.

Эта зависимость основана на различных спектральных свойствах хлорофилла в видимом и ближнем ИК диапазонах. Методологическая основа *NDO1* (гл. 1) обобщает элементы объективно существующего множества *NDI*, применяемого в мультиспектральном ДЗ, включая ближний ИК диапазон.

Это стимулирует разработку и создание спектрометрических систем, совмещающих *RGB* измерения и измерения в ближнем ИК диапазоне. На основе полученных данных определяются объектные индексы, трансформированный вариант нормализованного индекса и различные *RGB* индексы.

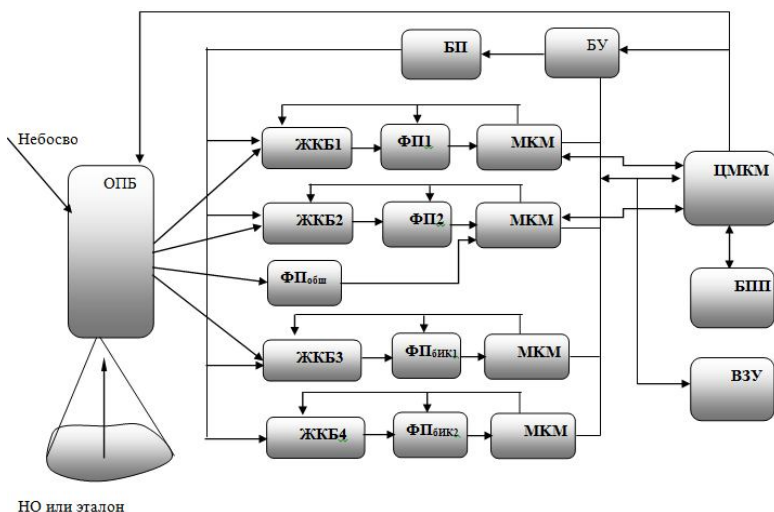


Рис. 6. Структурная схема модифицированной системы ДЗ



Отмечается, что использование двухчастотных ЖК модулей в качестве дефлектора, модулятора и светофильтра позволяет улучшить технические характеристики спектрометрической системы и расширить ее функциональные возможности за счет организации двух дополнительных измерительных каналов в ближнем ИК диапазоне.

При этом многофункциональность созданных систем заключается в возможности управления преобразователями канала измерения, управления полушириной полосы пропускания фильтров, реализации самокоррекции, предварительной обработки сигналов, учет внешних факторов и т.д.

Рассмотрены вопросы реализации многофункциональной *RGB – PAN* системы с управляемыми ЖК блоками (рис. 7). Отмечается, что операция слияния изображений является базовым инструментом для комбинирования мультиспектральных изображений низкого пространственного разрешения и панхроматических изображений высокого пространственного разрешения.

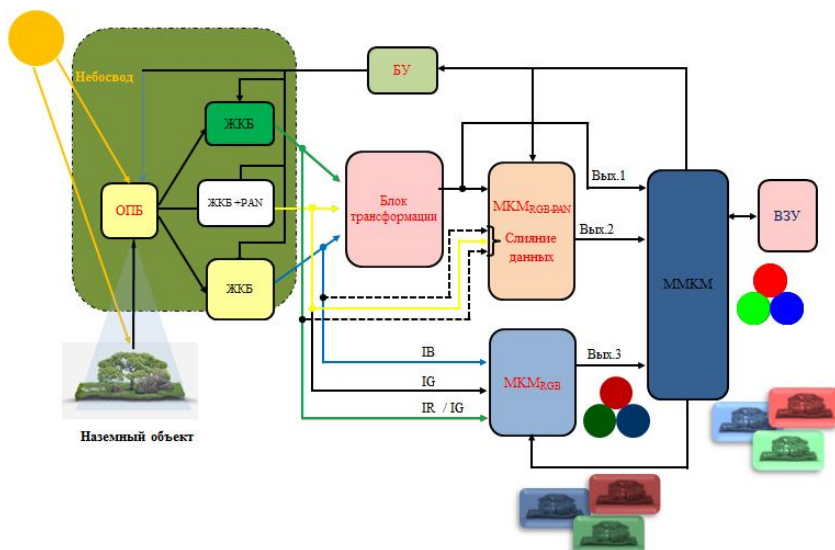


Рис.7. Структурная схема многофункциональная RGB-PAN система

При реализации RGB-PAN измерений для получения требуемого результата используются перенастраиваемые оптические блоки, дающие возможность синхронизации измерений в обоих диапазонах.

Показано, что результаты измерений, полученных в ИК-диапазоне спектра, играют важную роль при классификации исследуемых объектов. Поэтому особое внимание уделяется улучшению структуры оптической части системы.

Один из вариантов структурных схем системы контроля, работающей в ИК диапазоне показан на рис. 8.

Работа жидкокристаллических узлов в режиме ИК фильтра обеспечивается сменой вещества частиц и холестерического жидкого кристалла, что позволяет обеспечить перестраиваемость диапазона длин волн от видимой до дальней ИК-области. Такие управляемые ЖК фильтры имеют более широкую полосу пропускания, чем существующие аналоги.

При этом в результате совместных измерений ИК и RGB получаются соответствующие условные и реальные RGB цвета. Дешифрация ИК данных этими цветами дает возможность их визуализации и позволяет повысить достоверность информации.

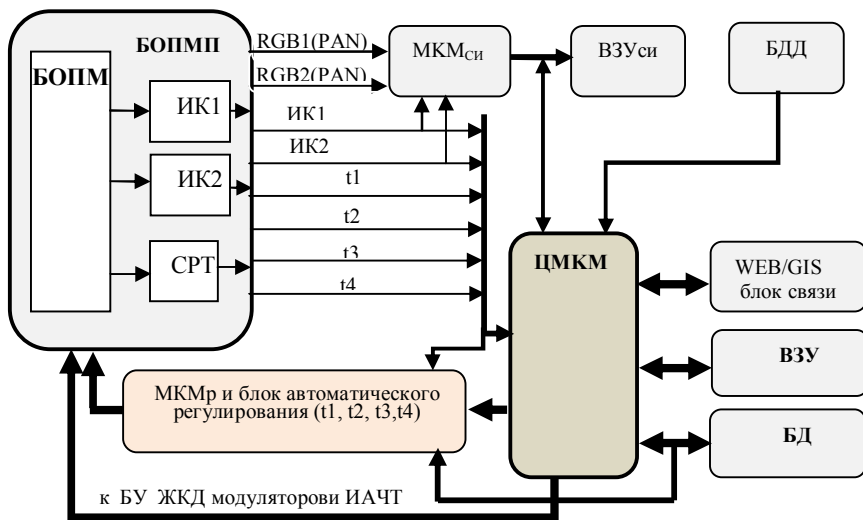


Рис. 8. Структурная схема измерительной системы

Периодически осуществляемый самоконтроль системы по программе, хранящейся в резидентной памяти программ ЦМКМ, обеспечивает функционирование дополнительных датчиков температуры и влажности (ДТВ), контролирующих предельные

значения температуры и влажности в помещении, в котором располагается система.

Это позволяет исключить влияния этих параметров на полезный сигнал, что дополнительно увеличивает достоверность полученной информации.

**Пятая глава** диссертационной работы посвящена вопросам применения колориметрических систем дистанционного зондирования для мониторинга наземных объектов и окружающей среды.

Приведено описание системы комплексного контроля производственных процессов и загрязнения окружающей среды при первичной обработке и транспортировке нефти и газа. На рис.9 представлена распределение двухуровневых измерений по RGB (PAN) и ИК-диапазонах между двумя ЛКИС.

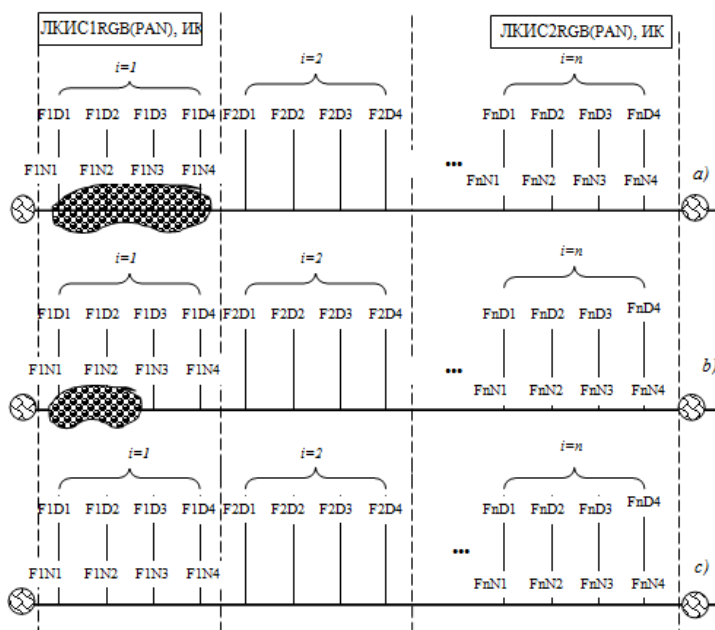


Рис.9. Распределение взаимосвязанных измерений по RGB и ИК каналам между двумя ЛКИС

Представлены структурная схема, принцип работы и алгоритм функционирования центрального контрольно-измерительного комплекса, осуществляющего дистанционные измерения и автоматический контроль технологических процессов с целью предотвращения аварий при транспортировке продуктов нефти и газа.

При этом дешифрация ИК данных условными и реальными RGB цветами дает возможность их визуализации и позволяет повысить достоверность определения координат и степени загрязнения территории.

Разработана методика замены наземных измерений объектов дистанционными измерениями с соблюдением статистического равенства между выборками значений этих измерений, проводимых между двумя локальными контрольно измерительными системами (ЛКИС).

Предложенная методика и алгоритмы ее реализации с использованием результатов RGB и ИК измерений позволяет определять границы сильно загрязненных участков, возникающих при транспортировке нефти и нефтепродуктов по трубопроводам.

Предлагается метод и средства, позволяющие на основе результатов измерения, соответствующих трем основным и трем промежуточным цветам в информативном поддиапазоне, а также значениям суммарного светового потока, восстановить данные на других промежуточных длинах волн путем непосредственного измерения и расчетным путем (рис. 10). Показано, что рациональный выбор количества каналов системы увеличивает ее быстродействие, что повышает достоверность результатов измерения.

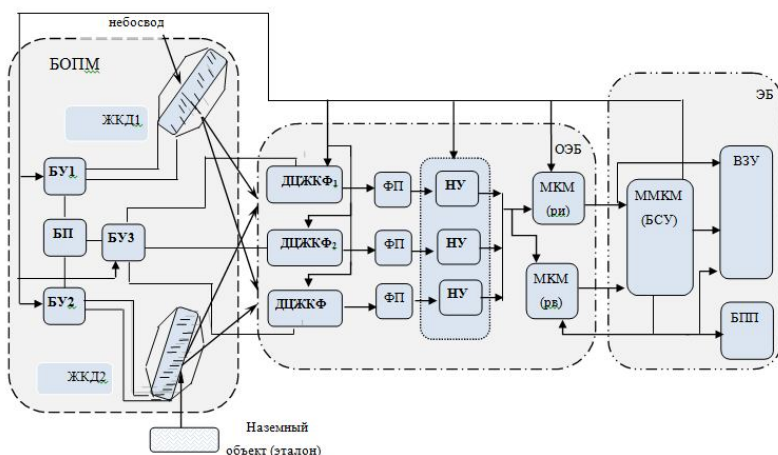


Рис. 10. Структура трехканальной бортовой системы

Описываются функциональные особенности системы. Отмечается, что электронное управление ЖК фильтрами и дефлекторами в системе приводит к улучшению ее точностных характеристик.

Физически это объясняется тем, что при подаче на ЖК фильтры сигнала с частотой, соответствующей определенному цвету, жидкий кристалл приобретает этот цвет и обеспечивает прохождение светового потока с длиной волны, соответствующей этому цвету.

В этой структуре ЖК-светофильтры, управляемые двухчастотным сигналом, имеют возможность пропускать две составляющие основных цветов, а ЖК-светофильтры, управляемые одночастотным сигналом, пропускающим только одну составляющую основных цветов видимого диапазона спектра.

МКМ<sub>ри</sub>- модуль микроконтроллера, хранящий результаты измерения, МКМ<sub>рв</sub>- модуль микроконтроллера, в котором производятся вычисления, а ЦМКМ(СУ)- модуль центрального микроконтроллера, выполняющего функции сравнения и управления.

По результатам эксперимента, на основе двухцветных ЖК фильтров, результаты вычислений можно корректировать, поскольку с помощью каждого используемого в системе ЖК фильтра можно получить результаты измерения, соответствующие длине волн двух цветов. Кроме того, при бесцветном режиме регистрируется результат измерения, соответствующий суммарному световому потоку. Следовательно, система позволяет получить результаты измерений, соответствующие трем основным и промежуточным цветам и суммарному световому потоку. При этом увеличивается ее быстродействие и повышается достоверность результатов измерения.

Отмечается, что получение небольшой части необходимых для классификации наземных объектов данных при мониторинге посредством непосредственных измерений, а остальных данных – с помощью предложенного метода позволяет решить проблемы, являющиеся причинами неточностей в классификации объектов.

В пятой главе изложены результаты исследования RGB измерений флотационной установки, используемой для обогащения горных пород для получения меди, железа и цинка. Флотационный процесс контролируется с помощью RGB измерительных камер. Основным фактором, влияющим на достоверность цветовых измерений флотационного процесса, является аэрозольное загрязнение пространства между RGB измерителями и пенным продуктом, которая приводит к ослаблению RGB сигналов из-за изменения оптической толщины воздуха в указанном пространстве.

В общем случае, указанная оптическая толщина изменяется: из-за увеличения показателя Ангрстрема с увеличением высоты установки RGB камер; из-за увеличения коэффициента аэрозольной мутности с

увеличением высоты установки RGB камер; из-за уменьшения эффекта увлажнения оптики RGB камер от воздействия водяных паров и аэрозольных частиц.

В результате исследований показано, что в RGB контроле цвета пенного продукта во флотационной установке обогащения горных пород высота установки RGB камер должна быть выбрана с учетом длин волн RGB диапазонов. Получены математические формулы для вычисления оптимальных высот, обеспечивающих минимальное эквивалентное ослабления RGB сигналов.

Рассмотрены вопросы классификации наземных объектов по данным RGB колориметрических систем ДЗ. Предложена классификация наземных объектов по данным трехканального спектрометрического комплекса, осуществляющего измерение в двух каналах по двум основным цветам видимого спектра и суммарного потока света.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе получены следующие основные результаты:

1. Сформулирован критерий предпочтения RGB дистанционной колориметрии по сравнению с гиперспектральной цветовой съемкой. Предложен и математически обоснован принцип валидации в многоуровневых RGB колориметрических системах ДЗ для оценки ошибок воспроизведения RGB цветов, возникающих вследствие метамерии.

2. Решена задача оптимизации процесса слияния RGB и панхроматических изображений путем выбора и использования функциональной зависимости между значениями сигналов мультиспектральных каналов и разработана система его реализации с повышенной информативностью данных.

3. Разработана многоуровневая система ДЗ RGB и ближних ИК диапазонов, а также обобщенная модель нормализованных дифференциальных индексов для выработки единого подхода к повышению достоверности классификации объектов исследований по результатам измерений, выполненных этой системой. Путем компьютерного моделирования определены погрешности RGB вегетационных индексов *ExG*, *CIVE*, *VVI* и выявлен факт приблизительного равенства аэрозольной погрешности этих индексов оптической толщине атмосферного аэрозоля.

4. Разработан и исследован метод аппаратной коррекции влияния атмосферного аэрозоля на воспроизведение цветности в дистанционной колориметрии и способ минимизации влияния его изменчивости на информативность мультиспектральных изображений при проявлении эффекта многомодальности функции распределения массы аэрозоля по размерам и с учетом остаточной аэрозольной метамерии, что увеличивает достоверность дистанционных колориметрических измерений.

5. Предложен метод синтеза оптимальной дистанционной спектрометрической цветоизмерительной системы с учетом турбулентности атмосферы, метод высотной компенсации эффекта альбедной метамерии при дистанционной колориметрии цвета морской поверхности и метод обнаружения на ней нефтяных пятен с учетом цветоискажающего влияния мелкодисперсионного атмосферного аэрозоля, позволяющие обеспечить повышение достоверности данных, полученных при аэрокосмическом мониторинге.

6. Разработана математическая модель для вычисления коэффициента спектральной яркости объектов в промежуточных длинах волн в видимом диапазоне, полученных на основе результатов RGB измерений. Компьютерным моделированием подтверждена близость результатов вычислений и экспериментальных данных.

7. Предложены структура и алгоритм функционирования спектрометрической системы с разделением процессов управления измерительными трактами и бортовой обработки информации, в которой совмещены процессы получения и обработки данных. Это обеспечивает многофункциональность системы путем коррекции погрешности измерительного тракта с учетом внешних и внутренних факторов, повышает достоверность данных и информативность колориметрической системы в целом, а также минимизирует объем наземной обработки данных.

9. На основе многофункциональных ЖК модулей разработаны структурные модели систем, которые осуществляют фильтрацию двух цветов в одном канале, а также позволяют измерить суммарный световой поток. Восстановление осуществляется путем непосредственного измерения и расчетным путем. Это приводит к получению дополнительных промежуточных цветов и тем самым позволяет повысить точность, быстродействие и надежность колориметрической системы в целом, а также расширить ее функциональные возможности за счет организации двух дополнительных измерительных каналов в ближнем ИК диапазоне.

10. Разработана методическая основа создания и алгоритм работы ИК и RGB систем для контроля и диагностики магистральных трубопроводов, локальных утечек и оперативного определения рабочего режима, а также границы загрязненных участков внутри исследуемой площади. Предложенная методика дешифрации данных ИК-измерений с помощью условных и реальных цветов RGB- измерений повышает достоверность принятых решений при прогнозе расположения территории, на которой произошла утечка нефтепродуктов.

11. Разработана методика выбора алгоритма работы и структуры двухуровневой колориметрической системы с учетом особенностей объекта исследования, его расположения на местности, а также внешних факторов, влияющих на результаты измерений.



**Результаты исследований отражены в следующих публикациях:**

1. Mirsəlimov R.M., Bəkirova L.R. Yerüstü obyektlərin spektral parlaqlıq əmsalını təyin etmə üsulu. Azərbaycan Respublikasının Patenti, P№990028, 14.01.1999

2. Мирсалимов Р.М., Бекирова Л.Р., Салигов С.Г., Федорцов А.З. Комплексный подход к выбору средств измерения уровня нефти и нефте-продуктов в резервуарах // Тезисы IV Международной научно-практической конференций “Хазарнефтегазтаг-2000”, Баку, Октябрь 10-13, 2000. с.34-35.

3. Mirsalimov R.M., Bakirova L.R., Hasanov T.E. Fast Spectrometer Complex for Control of the Physical Parameters of the Surface Faculties // Electrical, Electronic & Computer Engineering Symposium Near East University KTMMOB-Chamber of Electrical Engineers, 23-25 May, 2001, Lefkosa, TRNC, pp. 202-204

4. Mirsəlimov R.M., Bəkirova L.R. Yerüstü obyektlərin spektral parlaqlıq əmsalını təyin edən yeni üsulla ətraf mühitin ekoloji vəziyyətinə nəzarət // Akademik Həsən Əliyevin 95 illik yubileyinə həsr olunmuş elmi-praktik konfransın tezisləri, Bakı, 2002, s. 261-263

5. Mirsalimov R.M., Bekirova L.R., Saliqov S.Q. Airborne multichannel spectrometer with electronically-controlled luminous fluxes // Proceedings of the International Conference on MODELLING AND SIMULATION IN DISTRIBUTED APPLICATIONS (MS'2001) September 25-27, 2001, Coanqsha, China, pp. 633-636

6. Mirsalimov R.M., Bakirova L.R., Salihov S.Q. Control-Measuring System for Monitoring of Environmental Pollution with Oil and Oil Products // EPMR-2002 International Conference Environmental Problems of the Mediterranean Region, 12-15 April, 2002 NEU Nicosiz-Northern Cyprus, p. 436

7. Мирсалимов Р.М. Бекирова Л.Р., Аббас-заде А.А. Новый принцип определения коэффициента спектральной яркости при экологическом контроле окружающей среды // “AZƏRBAYCAN – müstəqillikdən sonra” Beynəlxalq konfransın materialları. Bakı, 3-4 mart 2003. c.145-146

8. Bəkirova L.R., Əliyev R.M. Yerüstü obyektlərin spektral parlaqlıq əmsalını təyin etmək üçün qurğu Azərbaycan Respublikasının Patenti, P№ İ20030022, 28.01.2003

9. Мирсалимов Р.М. Бекирова Л.Р., Аббас-заде А.А. Двухканальная структура спектрометрического устройства с жидкокристаллическими светофильтрами // AR MEA Kibernetika

İnstitutu və İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu. “İnformasiyalaşdırma, kibernetika və informasiya texnologiyalarının müasir problemləri” Respublika elmi konfransının əsərləri. Bakı, 28-30 aprel 2003-cü il, I cild, s. 155-158

**10.** Mirsəlimov R.M., Bəkirova L.R., Abbas-zadə A.A. Yerüstü obyektlərin spektral parlaqlıq əmsalını təyin etmək üçün qurğu. Azərbaycan Respublikasının Patenti, P№ İ20030023, 28.01.2003

**11.** Мирсалимов Р.М. Бекирова Л.Р., Гасанов Т.А. Формирование данных для контроля уровня загрязнения окружающей среды нефтяными предприятиями // AR MEA Kibernetika İnstitutu və İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu. “İnformasiyalaşdırma, kibernetika və informasiya texnologiyalarının müasir problemləri” Respublika elmi konfransının əsərləri. Bakı, 28-30 aprel 2003-cü il, I cild, s. 174-176

**12.** Mirsəlimov R.M., Bəkirova L.R., Abbas-zadə A.A. Yerüstü obyektlərə nəzarət etmək üçün ikitənzimli qurğu. Azərbaycan Respublikasının Patenti, P№ İ20030209, 30.10.2003

**13.** Бекирова Л.Р. Определение коэффициента спектральной яркости для трехканального спектрометрического комплекса // Azərbaycan Respublikası “Təhsil” Cəmiyyəti, “Bilgi dərgisi” Texnika jurnalı № 1 (18), Bakı, 2004, s. 36-40

**14.** Бекирова Л.Р. Спектрометрический комплекс с минимальными измерительными каналами в дистанционном зондировании // Azərbaycan Hava Yolları” Dövlət Konserni, MAA, akademik Arif Mircələl oğlu Paşayevin anadan olmasının 70 illiyinə həsr olunan “Mülki aviasiyaın müasir problemləri” Respublika Elmi-Texniki Konfransının əsərləri, 3-4 fevral, Bakı-2004, s. 129-136

**15.** Мирсалимов Р.М. Бекирова Л.Р. Моделирование бортового спектрометра с преобразованием светового потока по трем основным цветам видимого диапазона спектра // Труды пятой международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии», 17-21 мая 2004г., г. Одесса, Украина, с.67-68

**16.** Bəkirova L.R., Nəsenov T.Ə. Yerüstü obyektlərə nəzarət sistemlərində ölçmə nəticələrinə təsir edən amillər // Труды юбилейной международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию академика А.Ш. Мехтиева «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании», 20-23 декабря 2004 г. Баку, Азербайджан. с. 158-161

**17.** Bəkirova L.R., Yerüstü obyektlərə nəzarət etmək üçün qurğu.

Azərbaycan Respublikasının Patenti, P№ İ20040174, 05.10.04

**18.** Bəkirova L.R., Ramazanov K.Ş. Spektrometrik ölçmələrdə xətlər və onların aradan qaldırılması yolları // «Akademik Arif Mir Cəlal oğlu Paşayevin anadan olmasının 70 illik yubileyinə həsr olunmuş Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri», 2004, №1, 28.02.05.s.128-132

**19.** Mirsalimov R.M., Bekirova L.R. Abbaszadeh A.A. Processing of the radiation measurement signals in the spectrometric devices of remote sounding.//International Measurement Confederation IMEKO Technical Committee on Measurement Science-TC-7 AMS'04 PROCEEDINGS 10<sup>th</sup> IMEKO TC-7 International Symposium on Advances of Measurement Science June 30-July2, 2004, Saint-Petersburg, Russia. pp.223-226

**20.** Bəkirova L.R., Həsənov T.E. Yerüstü obyektlərin optik-fiziki parametrlərinin ölçülməsi və ölçmə diapazonunun seçilməsinin ölçmə nəticələrinə təsiri // «Elm və təhsildə informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının tətbiqi» beynəlxalq konfransın tezisləri Bakı, 16-17 sentyabr 2004, s. 203-204

**21.** Бекирова Л.Р. Интеллектуализация бортового спектрометра с преобразованием светового потока по трем основным цветам видимого диапазона спектра// Проблемы Нафтогазової Промисловости Збірник наукових праць. Випуск 4, Київ 2006, с.274-279

**22.** Bəkirova L.R. Neft və neft məhsullarının nəqli zamanı proseslərə və ətraf mühitin çirklənməsinə nəzarət edən kompleks //Azərbaycan texniki məktəblərinin xəbərləri, Bakı, 2007, № 6, s. 82-86

**23.** Бекирова Л.Р. Система автоматического контроля экологического состояния окружающей среды// Проблемы современной гражданской авиации. “Труды юбилейной международной научно-технической конференции, посвященной 15-летию Национальной академии Авиации Азербайджана”. Баку, 2007, с.341-344

**24.** Бекирова Л.Р. Классификация наземных объектов по данным спектрометрического комплекса соответствующим двум основным цветам и суммарного потока цвета // Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin xəbərləri, Bakı, 2007, № 1-2(10), cild 10, s. 75-82

**25.** Bəkirova L.R., Həsənov T.Ə. Yerüstü obyektlərin ekoloji vəziyyətinə nəzarət sistemlərində intellektuallaşdırma məsələləri//Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin xəbərləri, Bakı, 2008, №3(11), cild 11, s.63-70

**26.** Bəkirova L.R. Çoxfunksiyalı mayekristal bloklu spektrometrik sistem // АМЕА-nın xəbərləri. Bakı 2008. №3. s.170-175

**27.**Бекирова Л.Р. Задача повышения быстродействия

спектрометрической системы. //Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Информационные технологии и компьютерная инженерия», г. Винница, Украина, 19-21 мая 2010 года, с.311-312

**28.** Бекирова Л.Р. Повышение быстродействия спектрометрической системы //Система обработки информации. Сборник научных трудов. Выпуск 8(89), Харьков, Украина, 29.11.2010 года, с.9-13

**29.** Бекирова Л.Р., Гасанов Т.Е. Улучшение характеристик подспутниковых систем ИК диапазона. // Тезисы докладов II Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и компьютерная инженерия», г. Харьков, Украина, 26-27 мая 2011 года, с.7-8

**30.** Бекирова Л.Р., Гасанов Т.Е. Улучшение характеристик подспутниковых систем ИК диапазона //Система обработки информации. Сборник научных трудов. Выпуск 3(93), Харьков Украина, 19.05.2011 года, с.2-6

**31.** Бекирова Л.Р. Повышение достоверности результатов измерения систем дистанционного зондирования // Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития IT-индустрии», 17 – 18 ноября 2011 г., г. Харьков. с.98

**32.** Бекирова Л.Р. Повышение достоверности результатов измерения систем мониторинга //Журнал «Системи Управління, Навігації Та Зв'язку», Україна, Київ, 2011, випуск №4(20), ISSN 2073-7394, с. 35-41

**33.** Bekirova L.R., Mekhtiev A.Sh. Board spectrometr of ground-based objects for ecological state of monitoring system.// Восточно-Европейский Журнал Передовых Технологий, ISSN 1729-3774, 1/9(55), 2012, с. 4-10

**34.** Bekirova L.R. Modified Board System for Ecological Monitoring of Ground-Based Objects State //Advanced Materials Research Vol. 508 (2012), pp. 275-279. (2012) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/ www.scientific.net/AMR.508.275 ISSN: 10226680

**35.** Мехтиев А.Ш., Асадов Х.Г., Бекирова Л.Р. Оценка влияния атмосферного аэрозоля на воспроизведение цветности в дистанционной колориметрии //Исследование земли из космоса. №6, 2012, с.3-7. ISSN 0205-9614

**36.** Бекирова Л.Р. Эффект альбедной метамерии в дистанционной колориметрии цвета океана и метод устранения этого эффекта // Журнал «Специальная техника» №2, Москва: 2012, с.57-60

**37.** Асадов Х.Г., Бекирова Л.Р. Эффект аэрозольной метамерии в дистанционной колориметрии и методы устранения этого эффекта. //Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология”. Издатель Научно-технический центр "ТАТА", Москва. №09/ 2012, с. 166-169. ISSN 1608-8298

**38.** Бекирова Л.Р. Вопросы учета остаточной аэрозольной метамерии при дистанционном колориметрическом R,G,B контроле изменений фенологии роста растений // «Петербургский журнал электроники» 2(71)2012. С.125-130. ISSN N18095

**39.** Бекирова Л.Р. Метод колориметрического мультиспектрального обнаружения нефтяных пятен на морской поверхности с предобработкой исходного сигнала //Журнал «Экология урбанизированных территорий». Издательский дом «Камертон» (Москва), 2012, №4, с.83-87. ISSN: 1816-1863

**40.** Бекирова Л.Р., Асадов Х.Г. Метод синтеза оптимальной дистанционной спектрометрической цветоизмерительной системы с учетом турбулентности атмосферы // Журнал. «Контроль. Диагностика». Москва 2012, № 10, с. 69-71. ISSN 0201–7032

**41.** Бекирова Л.Р. Комплексный подход при мониторинге процесса транспортировки нефти и газа //Тези доповідей III міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та захист інформації», м.Харків, 20 – 21 квітня 2012 року, с.216-217

**42.** Бекирова Л.Р. Аппаратурная коррекция искажений цветности, вызванных влиянием атмосферного аэрозоля //Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin xəbərləri. Bakı, 2012, № 3(15), cild15, s. 54-60

**43.** Асадов Х.Г., Бекирова Л.Р. Трансформированные экстремальные дифференциальные мультиспектральные индексы с повышенной помехоустойчивостью // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». Москва. №10(114) 2012, с.84-87. ISSN 1608-8298

**44.** Бекирова Л.Р. Разработка обобщенной модели нормализованных дифференциальных индексов, применяемых в мультиспектральном дистанционном зондировании //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». Москва, № 10(114) 2012, с.88-91. ISSN 1608-8298

**45.** Бекирова Л.Р. Исследование влияния атмосферного аэрозоля на радиометрическую точность мультиспектральных бортовых систем формирования изображения //Журнал «Биотехносфера»,

Санкт-Петербург: изд. "Политехника" №5-6(23-24)/2012, с.40-43

**46.** Бекирова Л.Р. Вопросы оптимизации трансформации сигналов цветности при слиянии спутниковых черно-белых и цветных изображений// Журнал «Информационные технологии». Москва. издательство «Новые технологии». №6, 2013, с.60-62

**47.** Бекирова Л.Р., Абуталыблы У. Компьютерное моделирование в среде Multisim и Labview// Тезисы V Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития IT-индустрии». Харьков, 25 – 26 ноября 2013 г., . с.173

**48.** Бекирова Л.Р., Алибейли А. Применение жидких кристаллов в электронике и оптоэлектронике // Тезисы V Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития IT-индустрии». Харьков, 25 – 26 ноября 2013 г., . с.174

**49.** Бекирова Л.Р. Вопросы применения колориметрического контроля процесса флотационного обогащения минералов // Журнал «Контроль. Диагностика». М. 2013., № 07.с. 62-65. ISSN 0201–7032

**50.** Бекирова Л.Р. Вопросы минимизации влияния изменчивости атмосферного аэрозоля на информативности спутниковых мултиспектральных изображений // Журнал «Информационные технологии». М.: Изд. «Новые технологии». №8, 2013, с. 64-67

**51.** Shirin-Zade A.A., Bekirova L.R., Achmedov R.A. Issues of the authenticity of the continuous remote control of delivery mains for hydrocarbon gas transfer// Russian Journal of Nondestructive Testing. Volume 50, Issue 5, pp 283-287. published in Defektoskopiya, Moskov, 2014, Vol. 50, No. 5, pp. 41–46.

**52.** Bekirova L.R. Principle of validation of multilevel RGB colorimetric systems of remote sensing. Proceedings of the National Aviation University. Kyiv, Ukraine. 2013. N 4 (57): 91–94

**53.** Бекирова Л.Р. Комплексный подход выбора системы для оперативной организации многоуровневого мониторинга наземных объектов. V Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития IT-индустрии»; 17 – 18 ноября 2015 г., г. Харьков.с.174

**Xülasə**  
**Ətraf mühitin spektrin görünən və infraqırmızı diapazonlarda**  
**məsafədən kompleks monitoring sistemi**  
**Lalə Rüstəm qızı Bəkirova**

Dissertasiya işi girişdən, beş fəsildən, yekun nəticədən və istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

Dissertasiya işi ətraf mühitin məsafədən kolorimetrik monitoring sisteminin rəng canlandırılmasının dəqiqliyinin artırılması məsələlərinin kompleks həllini nəzərdə tutan yeni ölçmə elmi metodları və metodikalarının işlənməsinə həsr olunmuşdur. Ətraf mühitin spektrin görünən və infraqırmızı diapazonlarında yüksəkinformativ və çoxfunksiyalı sisteminin yaradılmasının elmi-metodiki əsasının işlənməsi üçün ölçmə nəticələrinin informativ qiymətləndirməsi və təsdiqlənməsi, çoxsəviyyəli RGB kolorimetrik sistemin optimallaşdırılması, həmçinin RGB və multispektral sistemlərin qarşılıqlı əlaqəsi tədqiq olunmuşdur.

Atmosferin məsafədən kolorimetrik ölçmələrin dəqiqliyinə təsirləri tədqiq olunmuş və bu məqsədlə atmosfer aerolunun, qalıq aerol metameriyası və atmosfer turbulentiyyəsinin nəzərə alınması məsələlərinə baxılmışdır.

Ətraf mühitin monitoring sistemlərində ölçmə nəticələrinin həqiqətə uyğunluğunun artırılması metodları işlənmişdir.

Məsafədən zondlamada baza RGB kolorimetrik sistemin qurulmasının struktur-funksional məsələləri həll olunmuşdur.

Ətraf mühitin spektrin görünən və infraqırmızı diapazonlarında məsafədən kompleks monitoring sisteminin çoxfunksiyallılığının təmin olunmasının struktur və alqoritmik həlli verilmişdir.

Spektrin görünən və infraqırmızı diapazonlarında məsafədən kompleks monitoring sisteminin yerüstü obyektlərinin və ətraf mühitin monitoringində tətbiqi məsələlərinə baxılmışdır.

Dissertasiyanın sonunda alınan elmi nəticələr, işi ətraf mühitin spektrin görünən və infraqırmızı diapazonlarında yüksəkinformativ və çoxfunksiyalı sistem kimi təqdim edir.

**Summary**  
**Integrated remote monitoring system environment in visible and  
infrared range of the spectrum**  
**Lala Rustam gizi Bakirova**

This introduction, five chapters, and the final result is a list of used literature.

This thesis in environmental remote monitoring system colorimetric revival of color measurement accuracy of new scientific methods to increase the resolution of complex issues and is dedicated to the development of metodikalarının. Environmental visible and infrared bands of the spectrum of scientific and methodological basis for the creation of highly informative and versatile system for the processing of the measurement results of the assessment and approval of informative, multi-level optimization of the RGB colorimetric system, as well as RGB and interaction with multi-spectral systems were investigated.

Colorimetric measurement accuracy range investigated the effects of the atmosphere and atmospheric aerosolunun this purpose, residual aerosol and atmospheric turbulences metameriyası issues were taken into account.

Methods have been developed to improve the accuracy of the measurement of the results of environmental monitoring systems.

Remote sensing RGB colorimetric system, the establishment of the basic structural and functional problems have been solved.

The visible and infrared range of the spectrum bands of the environment to ensure a comprehensive monitoring system for structural and algorithmic solution coxfunksiyalıılığının given.

The visible and infrared range of the spectrum bands, and environmental monitoring of the implementation of a comprehensive monitoring system on the surface of objects considered.

At the end of the scientific results of the dissertation work in visible and infrared bands of the spectrum environment and multifunctional system provides a highly informative.



**“AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARI”  
QAPALI SƏHMDAR CƏMİYYƏTİ  
MİLLİ AVİASIYA AKADEMİYASI**

---

***Əlyazması hüququnda***

**LALƏ RÜSTƏM QIZI BƏKİROVA**

**ƏTRAF MÜHİTİN SPEKTRİN GÖRÜNƏN VƏ İNFRAQIRMIZI  
DİAPAZONLARDA MƏSAFƏDƏN KOMPLEKS MONİTORİNG  
SİSTEMİ**

**Ixtisas: 3324.07 – “Məsafədən aerokosmik tədqiqatlar”**

**Texnika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim  
edilmiş dissertasiyanın**

**AVTOREFERATI**

**BAKİ – 2016**