

На правах рукописи

РЕНА ОМАР кызы ГУСЕЙНОВА

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ
И ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ И МАЛЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ**

*3337.01 – Информационно-измерительные и
управляющие системы*

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике

Баку – 2016

Работа выполнена в Азербайджанском Архитектурно-Строительном
Университете

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор **Ф.Г.Агаев**

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
А.Г. Рзаев

докт. фил. по технике,
доц., **А.М.Мехтиева**

Ведущая организация: Азербайджанский Технический Университет
(каф. «Компьютерные системы и сети»).

Защита диссертации состоится 20 мая 2016 года в 15.00 часов на
заседании Диссертационного совета D 01.121 при Институте
Систем Управления НАН, по адресу: Az 1141, г.Баку, ул.Б.Вахабзаде 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Систем
Управления НАН Азербайджана.

Автореферат разослан 15 апреля 2016 года.

Ученый секретарь Диссертационного Совета
D 01.121, докт. фил. по математике, доц.

А.Б. Пашаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Общепринято, что интеллектуальная измерительная система может обеспечивать:

- автоматическую коррекцию погрешности, появившейся в результате воздействия влияющих факторов и/или старения;
- самовосстановление при возникновении единичного дефекта;
- адаптацию режима, оптимизацию параметров и алгоритмов работы с целью повышения эффективности функционирования измерительной системы.

Одним из направлений применения принципов искусственного интеллекта в области изучения атмосферы является создание новых алгоритмов формирования прогнозных оценок в сфере аэрозольных исследований. Вместе с тем, климатические изменения на Земле, происходящие в течение последних десятилетий диктуют необходимость тщательного изучения не только атмосферного аэрозоля, но и всего энергобаланса планеты и закономерностей изменения всех его отдельных составляющих.

Энергобаланс системы «атмосфера – земля» во многом определяется наличием малых газовых составляющих и аэрозоля в атмосфере. Достаточно отметить, что такие малые газы как метан, CO , NO_x активно участвуют в создании «парникового эффекта», а атмосферный аэрозоль воспрепятствует прохождению 20% всей поступающей солнечной энергии на поверхность Земли.

Хорошо известно, что аммиак является одним из токсичных малых газов в тропосфере, влияющих на кислотную химическую среду в нижней атмосфере. Газовая фаза аммиака проявляет стабильность в окислительной атмосфере и обладает довольно длительным временем жизни (4-5 дней).

Водяные пары являются важнейшим фактором климатических изменений и возможного глобального потепления. Точное измерение пространственного и временного распределения общего количества водяных паров (осажденной воды или колонного количества водяных паров, измеряемого в г/см^2) является важной задачей метеорологической практики, а также необходимо для дальнейшего повышения точности GPS измерений.

Будучи многодисперсной и многофазной системой, атмосферный аэрозоль характеризуется широким диапазоном изменения диаметра частиц (до 10^5), коротким временем жизни (2-5

дней), многомодальностью распределения и подверженностью воздействию многих метеорологических факторов (ветер, дождь, водяные пары и т.д.). Все эти свойства атмосферного аэрозоля обуславливают фаззи характер многих показателей атмосферного аэрозоля, его случайный и трудно предсказуемый характер.

Хорошо известно, что спектральные системы атмосферных измерений, в том числе мультиспектральные солнечные фотометры должны пройти точную калибровку при стабильных внешних условиях. Вместе с тем, существуют многочисленные локальные станции и сети атмосферных измерений, где солнечные фотометры эксплуатируются в условиях воздействия нестабильных факторов. Для калибровки этих приборов в реальных условиях используются метод эталонных источников излучателей, а также метод сравнения с использованием эталонного прибора. Разработка новых методов калибровки атмосферных измерительных систем и приборов безусловно является актуальной задачей теории и практики информационно-измерительных систем, используемых в метеорологических и климатических исследованиях.

Состояние проблемы. Фаззи или случайный характер многих атмосферных компонентов, в том числе аэрозоля диктует необходимость учета влияния этих факторов на результаты проводимых измерений.

Поглощение, отражение и рассеяние аэрозолем оптического излучения приводит к существенной погрешности результатов наземных атмосферных измерений. Такие измерения обычно проводятся спектрометрическими приборами, а также фильтровыми фотометрами требующими предварительную калибровку.

Исторически в конце 19-го века был предложен широко распространенный в настоящее время метод Ленгли, который базировался на законе Бугера-Бера. Основной недостаток этого метода – влияние изменчивости аэрозоля в промежутке времени проведения измерений при двух оптических массах. В дальнейшем, исследователями многих стран предлагались различные модификации этого метода, в которых удавался несколько снизить влияние нестабильности атмосферного аэрозоля на точность калибровки фотометра.

В ряде из таких модификаций был продемонстрирован аналитический подход к решению задачи калибровки солнечного

фотометра. Однако аналитическая модификация метода Ленгли также обладает существенным недостатком, так как в этом методе требуется проведение фотометрических измерений в интервале времени ΔT , в течение которого свойства аэрозоля могут существенно измениться.

Следовательно, дальнейшее увеличение точности калибровки солнечных фотометров возможно путем адекватной оценки нестабильности аэрозольного фактора. Следует отметить, что до конца 20-го века в исследовании атмосферного аэрозоля преобладал вероятностный метод.

В течение последних трех десятилетий разрабатывались многомодальные вероятностные модели атмосферного аэрозоля. Вместе с тем начиная с 2005-го года в исследовании атмосферного аэрозоля стали применяться интеллектуальные методы, такие как нечеткие множества, нейронные сети и др. Такой альтернативный подход к изучению атмосферного аэрозоля был теоретически всесторонне обоснован и в настоящее время фаззи подход к изучению влияния аэрозоля считается состоявшимся.

Проведенный поиск по соответствующей технической литературе последнего десятилетия, показал, что в настоящее время почти отсутствуют работы по применению фаззи подхода к изучению влияния аэрозоля на точность калибровки солнечных фотометров. Исходя из выше изложенного, в качестве одной из основных в диссертационной работе была поставлена задача применения фаззи оценки влияния аэрозоля в известной аналитической модификации метода Ленгли.

Общеизвестно, что основными факторами ограничения точности наземных измерений как различных компонентов атмосферы, так и самой солнечной радиации является изменение оптических показателей атмосферного аэрозоля и водяного пара.

В экологическом плане особую важность представляет достоверное измерение таких газов с малой концентрацией в атмосфере как CH_4 , O_3 , NH_3 (аммиак) и др. Одним из таких перспективных направлений является метод фотофрагментационной лазерно-индуцированной флуоресценции для измерения аммиака.

Общим направлением повышения эффективности измерения «малых» газов атмосферы (т.е. газов с малой концентрацией в атмосфере) принятой в настоящей диссертационной работе является

применение принципа адаптивных измерений. В соответствии с этим принципом определяются: роль основного дестабилизирующего фактора, вызывающего погрешности измерений, модельная или фаззи прогнозная оценка влияния дестабилизирующего фактора, и далее осуществляется изменение регулируемого параметра в соответствии с данной прогнозной оценкой, что позволяет повысить общую эффективность проводимых измерений.

Цель диссертационной работы заключается в исследовании возможности и закономерностей использования методов искусственного интеллекта в информационно-измерительных системах и приборах при проведении атмосферных измерений для повышения эффективности их функционирования.

Основные задачи исследований.

1. Формулирование и решение задачи вычисления условий минимального роста концентрации озона в двух чередующихся и различных по метеохарактеристикам днях по методу линейного программирования с применением нечетких множеств.

2. Формулирование и решение инверсной задачи определения общего количества водяных паров в атмосфере с использованием эквивалентного представления атмосферы в виде последовательно включенных слоев паров воды и аэрозоля.

3. Разработка различных способов усовершенствования известного метода одноволновой калибровки фотометров при двух оптических воздушных массах с использованием методов фаззи предсказания, адаптивного управления и оптимизации.

4. Разработка метода и алгоритма реализации адаптивных измерений общего количества паров воды в атмосфере с помощью солнечных фотометров.

5. Разработка двухволнового метода и алгоритма калибровки солнечных фотометров с повышенной точностью.

6. Формирование и решение задачи оптимизации многоциклового процесса фотофрагментационного лазерно-флуоресцентного метода измерения атмосферного аммиака в адаптивном режиме.

7. Разработка метода оптимизации солнечно-фотометрических измерений атмосферного озона и аэрозоля с адаптивным выбором режима измерений.

8. Оптимизация режима измерения радиации, отраженной крупнодисперсным морским аэрозолем.

9. Исследование возможности фаззи вычисления индекса качества воздуха с учетом концентраций основных загрязнителей воздуха.

Методы исследования. Поставленные в диссертационной работе задачи решены с использованием методов искусственного интеллекта, метода вариационной оптимизации, теории погрешностей, методов математического анализа, теории атмосферной оптики. Основные результаты полученные в диссертационной работе были проверены проведенными модельными исследованиями с привлечением результатов апробированных экспериментальных работ.

Научная новизна.

1. Показано, что задача обеспечения условий минимального роста концентрации озона в двух чередующихся различных по метеорологическим и экологическим характеристикам дням может быть решена методом линейного программирования. При этом некоторые из ограничительных условий, используемых для решения задачи оптимизации, могут быть сформулированы с использованием теории нечетких множеств.

2. Показано, что эквивалентное представление атмосферы в виде последовательно включенных слоев паров воды и аэрозоля, позволяет сформулировать и решить инверсную задачу определения общего количества водяных паров с применением регуляризации решения. Впервые предложен метод адаптивных измерений общего количества паров воды в атмосфере с помощью солнечных фотометров.

Разработан алгоритм реализации предлагаемого метода и предложена функциональная схема адаптивной системы измерения общего количества паров воды в атмосфере.

3. Впервые предложены и математически обоснованы способы усовершенствования известного метода одноволновой калибровки при двух различных оптических воздушных массах, позволяющие обеспечить стабильное проведение калибровки солнечных фотометров с учетом случайных временных изменений атмосферного аэрозоля. Разработаны следующие варианты реализации фаззи калибровки солнечного фотометра:

- Метод фаззи предсказания приращения оптической толщины аэрозоля за промежуток времени проведения калибровки для управления коэффициентом отношения оптических масс;

- Метод адаптивного управления коэффициентом отношения оптических воздушных масс путем приравнивания квадратного корня этого отношения к обратной величине отношения оптических толщин аэрозоля;

- Метод калибровки фотометров с уменьшенным диапазоном изменения оптической воздушной массы.

4. Впервые предложен двухволновый метод калибровки солнечных фотометров с повышенной точностью. Дано математическое обоснование метода, изложен алгоритм его реализации.

5. Впервые сформулирована и решена задача оптимизации многоциклового процесса фотофрагментационного лазерно-флуоресцентного дистанционного измерения атмосферного аммиака в адаптивном режиме измерений.

6. Предложен метод оптимизации солнечно-фотометрических измерений атмосферного озона и аэрозоля атмосферы, позволяющий оптимально выбирать наиболее целесообразный режим атмосферных измерений в зависимости от значений некоторых параметров этих атмосферных составляющих.

Получена трансцендентная формула для вычисления длины волны, на которой целесообразно провести оптимальные измерения.

7. Оптимизирован режим измерения радиации, отраженной крупнодисперсным морским аэрозолем. Сформулирован специфический инвариант для радиации, отраженной крупнодисперсным морским аэрозолем, а также сформулированы требования к точностным характеристикам солнечных фотометров используемых для морских измерений.

Основные положения выносимые на защиту.

1. Положение о том, что задача определения условий минимального роста концентрации озона в двух чередующихся, различных по метеорологическим характеристикам днях может быть сформулирована и решена методом линейного программирования. При этом некоторые из используемых ограничительных условий

могут быть сформулированы с использованием теории нечетких множеств.

2. Положение о том, что эквивалентное представление атмосферы в виде последовательной включенных слоев паров воды и аэрозоля позволяет решить инверсную задачу определения общего количества водяных паров в атмосфере с применением регуляризации решения.

3. Предложенные способы усовершенствования известного метода одноволновой калибровки фотометров при двух оптических воздушных массах, обеспечивающие устранение влияния случайных временных изменений оптической толщины атмосферного аэрозоля:

- Метод фаззи предсказания приращения оптической толщины аэрозоля за промежуток времени проведения калибровки для управления коэффициентом отношения оптических масс;

- Метод адаптивного управления коэффициентом отношения оптических воздушных масс путем приравнивания квадратного корня этого отношения к обратной величине отношения оптических толщин аэрозоля;

- Метод калибровки фотометров с уменьшенным диапазоном изменения оптической воздушной массы.

4. Разработанный метод проведения адаптивных измерений общего количества паров воды в атмосфере с помощью солнечных фотометров.

Разработанные алгоритмы реализации и функциональная схема адаптивной системы измерений общего количества паров воды в атмосфере.

5. Предложенный двухволновый метод и разработанный алгоритм калибровки солнечных фотометров с повышенной точностью.

6. Решение сформулированной задачи оптимизации многоциклового процесса фотофрагментационного лазерно-флуоресцентного метода измерения атмосферного аммиака в адаптивном режиме.

7. Разработанный метод оптимизации солнечно-фотометрических измерений атмосферного озона и аэрозоля, позволяющий адаптивно выбирать наиболее целесообразный режим атмосферных измерений в зависимости от некоторых параметров этих атмосферных составляющих.

8. Результаты оптимизации режима радиометрического измерения радиации, отраженной крупно-дисперсным морским аэрозолем. Сформулированные требования к точностным характеристикам солнечных фотометров используемых для морских измерений.

Практическая значимость.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в метеорологических организациях и измерительных сетях с целью проведения периодической калибровки солнечных фотометров.

Результаты исследований по адаптивному измерению общего количества паров воды в атмосфере могут быть использованы для метеообеспечения практического функционирования GPS систем позиционирования в смысле минимизации имеющихся в этих системах задержек распространения сигнала.

Результаты проведенных исследований по использованию методов искусственного интеллекта в атмосферных измерениях могут быть использованы в различных практических приложениях в области метеорологии, экологии, геофизики, климатологии и др. областях естествознания.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на:

- X международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству», Барнаул, 2015 г;
- 5-й Международной межвузовской научно-практической конференции. Великие Луки, 2015 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, из них 9 статей в иностранных рецензируемых научных журналах и 2 статьи в трудах международных конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной работы. Основной текст изложен на 138 страницах, содержит 10 таблиц, 46 рисунков. Список литературы включает 104 наименований.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, изложены цель и задачи исследований, приведены научная новизна, практическая ценность работы и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертационной работы посвящена разработке методических основ построения интеллектуальных систем контроля и измерения аэрозоля и малых газовых составляющих атмосферы.

Изложен предлагаемый метод линейно – фаззи программирования для решения оптимизационных задач прогнозирования появления приземного озона.

Рассмотрен вопрос прогнозирования роста концентрации приземного озона используя данные двух последующих дней. Формулируется и решается задача обеспечения условий минимального роста в объемах сгенерированного озона в двух последующих, различных по метеорологическим и экологическим характеристикам днях путем составления оптимизационной задачи минимизации разницы сгенерированных объемов озона во временных промежутках ΔT_1 первого дня и ΔT_2 последующего дня, наиболее благоприятных для генерации озона.

Показано, что задача обеспечения условий минимального роста концентрации озона в двух последующих различных по метеорологическим и экологическим характеристикам днях может быть сформулирована в качестве оптимизационной задачи минимизации разницы сгенерированных объемов озона во временном промежутке ΔT_1 первого дня и ΔT_2 последующего дня, наиболее благоприятных для генерации озона.

Показано, что сформулированная экологическая задача может быть решена методом линейного программирования, при этом некоторые из ограничительных условий, используемых для решения задачи оптимизации, могут быть сформулированы с использованием теории нечетких множеств.

В первой главе также рассмотрены вопросы применения метода регуляризации при фотометрических измерениях общего количество водяных паров в атмосфере.

Предложено эквивалентное представление атмосферы в виде последовательно включенных слоев паров воды и аэрозоля

позволяющее сформулировать и решить инверсную задачу определения общего количества водяных паров с применением регуляризации решения.

В конце первой главы изложен предлагаемый метод калибровки фотометрических систем атмосферных измерений с фаззи управлением коэффициентом отношения оптических масс.

Наиболее важным, с точки зрения физики атмосферы и классической теории измерительной техники, является принятие мер по устранению влияния атмосферного аэрозоля на результат калибровки фотометрических приборов.

Рассмотрен вопрос о фаззи реализации усовершенствованного варианта известного метода калибровки солнечных фотометров, предусматривающего проведение атмосферных фотометрических измерений при двух величинах оптической воздушной массы.

Показано, что для калибровки фотометрических измерителей может быть использовано следующее выражение

$$C \cdot I_0(\lambda) = \sqrt[k-1]{\frac{I_1^k(\lambda, m_1)}{I_{10}(\lambda, km_1)}} \cdot e^{-\left[\frac{m_1 \cdot k \cdot \Delta \tau_{aer}(\lambda)}{k-1}\right]}, \quad (1)$$

Здесь и далее, в формулах, приведенных в автореферате используемые параметры имеют следующую размерность:

C- коэффициент калибровки, размерность ($\frac{\text{Вольт}}{\text{Вт/М}^2 \cdot \text{стер}}$);

$I_0(\lambda)$ -интенсивность солнечного излучения ($\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{стер}}$);

I_{1u} I_{10} - выходные сигналы фотометра при оптических массах m_1 и $k \cdot m_1$ соответственно - (Вольт);

m - оптическая воздушная масса (также, оптическая масса), безразмерная величина;

k – безразмерный коэффициент, показывающий кратность изменения оптической массы от m_1 до $k \cdot m_1$.

$\tau_{aer}(\lambda)$ - оптическая толщина аэрозоля, безразмерная величина;

ν - параметр Юнге, безразмерная величина;

λ - длина волны, (нм) или (мкм);

β - коэффициент мутности атмосферы, безразмерная величина.

где C - коэффициент калибровки; $I_0(\lambda)$ - интенсивность внеатмосферного солнечного излучения на длине волны λ ; k - безразмерный коэффициент режима калибровки; I_1 - сигнал на выходе фотометра; λ - длина волны; m_1 - оптическая воздушная масса; $\Delta\tau_{aer}(\lambda)$ - приращение оптической толщины аэрозоля за временной промежуток изменения оптической воздушной массы от значения m_1 до $k \cdot m_1$.

Для достижения стабильности калибровки используется фаззи-управление калибратором, где фаззи контроллер формирует фаззи-прогноз значения $\Delta\tau_{aer}(\lambda)$ за установленное приращение времени. Далее, согласно причинно-следственной диаграмме фаззи управления осуществляется изменение длины волны измерения для достижения условия стабильности калибровки фотометра.

Вторая глава диссертационной работы посвящена вопросам реализации принципа адаптивного управления в системах контроля и измерения атмосферных составляющих. Вначале главы излагается предложенный метод адаптивного управления калибровкой мультиспектральных фотометрических систем атмосферных измерений. Показано, что согласно этому методу калибровка фотометров может быть осуществлена по следующему выражению

$$C \cdot I_0(\lambda_1) = {}^{k-1} \sqrt{\frac{I(\lambda_1, t_1)^k}{I(\lambda_1, t_2)}} \cdot e^{-k m(t_1)[\tau_{aer}(\lambda_1, t_1) - k \tau_{aer}(\lambda_1, t_2)]}, \quad (2)$$

где t_1 и t_2 - временные моменты проведения измерений при оптических массах m и km .

При этом адаптивное управление коэффициентом режима калибровки k осуществляется по условию

$$k = \sqrt{\frac{m(t_2)}{m(t_1)}} = \frac{\tau_{aer}(\lambda_1, t_1)}{\tau_{aer}(\lambda_1, t_2)}. \quad (3)$$

Разработан алгоритм реализации предлагаемого метода калибровки.

Отметим, что предлагаемый метод калибровки обладает свойством адаптивности, так как параметры рабочего режима калибровки t_1 ; t_2 и k определяются в зависимости от показателей аэрозольной загрязненности атмосферы $\tau_{aer}(t_1)$ и $\tau_{aer}(t_2)$. Показано, что при $t_2 = 11.00$; $t_1 = 9.00$ в результате вычисления отношения оптических масс из выражения (3) получим

$$k = \sqrt{\frac{2}{1,5}} \approx 1,15 \quad (4)$$

При этом согласно условию (3) также должно быть удовлетворено условие

$$\frac{\tau_{aer}(\lambda_1, 9.00)}{\tau_{aer}(\lambda_1, 11.00)} \approx 1,15 \quad (5)$$

Если учесть, что пик производственной деятельности скорее близок к 9.00, чем к 11.00, то можно ожидать, что в городской местности условие (5) может быть удовлетворено. Таким образом, оптимальными в рассматриваемом модельном случае параметрами, определяющими условия проведения калибровки являются: $t_2 = 11.00$; $t_1 = 9.00$; $k = 1,15$.

Далее, во второй главе рассмотрены вопросы построения адаптивной системы измерения общего количества водяных паров в атмосфере на базе солнечного фотометра.

Предложен метод проведения адаптивных измерений с помощью солнечных фотометров.

Разработан алгоритм реализации предлагаемого метода и предложена функциональная схема адаптивной системы измерений.

Во второй главе также изложен предложенный двухволновый адаптивный метод калибровки солнечных фотометров повышенной точности.

Предлагаемая новая методика двухволновой калибровки солнечных фотометров заключается в следующем.

1. На длине волны λ_1 , где отсутствуют линии поглощения атмосферных газов осуществляется измерение солнечной радиации, поступающей на вход солнечного фотометра.

2. На длине волны $k_1 \cdot \lambda_1$, $k_1 = const$, где отсутствуют линии поглощения атмосферных газов, также осуществляется атмосферное измерение солнечной радиации, поступающей на вход фотометра.

3. Результат измерений по пункту 1 возводится в степень k_2 , где $k_2 = k_1^{-\alpha}$, т.е. значение k_2 определяется адаптивно, в зависимости от показателя Ангстрема α .

4. Коэффициент калибровки вычисляется по нижеуказанному выражению, которая получается на базе результатов реализации пунктов 2 и 3.

$$C = \sqrt[k_2 - 1]{\frac{I^{k_2}(\lambda_1) \cdot I_0(k_1 \cdot \lambda_1)}{I(k_1 \lambda_1) \cdot I_0^{k_2}(\lambda_1)}} \quad (6)$$

где I - сигнал на выходе фотометра; $I_0(\lambda_1)$ - интенсивность внеатмосферной солнечной радиации на длине волны λ_1 .

При этом погрешность вычисления коэффициента калибровки вычисляется по формуле

$$\gamma = 1 - e^{-\frac{m \cdot \Delta\beta}{k_2 - 1}} \quad (7)$$

где $\Delta\beta$ - приращение коэффициента мутности атмосферы Ангстрема.

В конце второй главы изложены результаты модельных исследований по адаптивному управлению процессом калибровки фотометрического измерителя.

Критический анализ результатов существующих исследований дневного хода оптической толщины атмосферного аэрозоля показал, что существует характерный тренд суточного изменения AOD, состоящий в наличии двух максимумов AOD во временных интервалах 06.00 – 11.00 и 19.00 – 22.00.

Проведенные модельные исследования показали, что применительно к предложенному методу калибровки солнечных фотометров оптимальными временными точками являются 9.00 и 11.00.

Третья глава диссертационной работы посвящена вопросам оптимизации и анализа погрешности системы контроля и измерения атмосферных составляющих. Изложены результаты оптимизации

фотофрагментационного лазерно-индуцированного флуоресцентного метода адаптивного измерения аммиака в атмосфере в ультрафиолетовом диапазоне. Использование фотофрагментации в данном методе обосновывается тем, что аммиак не обладает достаточно сильным свойством флуоресценции и получение здесь прямой лазерно-индуцированной флуоресценции с достаточной чувствительностью проблематично. Фотофрагментационный метод лазерно-индуцированной флуоресценции предполагает выполнение следующих операций:

1. С помощью лазерного излучения в диапазоне «вакуумного» ультрафиолета осуществляется фотолиз исходной молекулы NH_3 , превращая ее в малые фрагменты NH , обладающие высокой флуоресцентной эффективностью.

2. После затухания первичной флуоресценции используя лазерный луч с длиной волны 452 нм осуществляется вторичная лазерно-индуцированная флуоресценция, наблюдаемая на длине волны 325 нм.

Сформулирована и решена задача оптимизации многоциклового процесса фотофрагментационного лазерно-флуоресцентного измерения атмосферного аммиака в адаптивном режиме.

В третьей главе также изложены результаты оптимизации солнечно – фотометрического метода измерения малых газовых компонент и аэрозоля в атмосфере.

Предложен метод оптимизации солнечно – фотометрических измерений атмосферного озона и аэрозоля атмосферы, позволяющий оптимально выбирать наиболее целесообразный режим атмосферных измерений в зависимости от некоторых параметров атмосферного озона и аэрозоля.

В конце третьей главы рассмотрены вопросы фотометрического контроля аэрозольной обстановки в атмосфере над морскими территориями.

Осуществлена оптимизация режима радиометрического измерения радиации, отраженной крупнодисперсным морским аэрозолем.

Сформулированы требования к точностным характеристикам на выходе портативных солнечных фотометров используемых для морских измерений.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена модельным исследованиям системы измерения атмосферных составляющих и фаззи контроля качества воздуха.

Изложены результаты модельных исследований по разработке фаззи предсказателя оптической толщины атмосферного аэрозоля. Анализ многочисленной научной литературы позволяет сделать заключение о том, что наиболее действенными факторами являются относительная влажность и скорость ветра.

Показано, что фаззи вычисления позволяют осуществить удовлетворительное по качеству прогнозирование появления крупнодисперсного аэрозоля. Это в свою очередь позволяет осуществить высокоточную калибровку солнечных фотометров по усовершенствованному методу без необходимости проведения измерения оптической толщины аэрозоля.

В четвертой главе также изложен предлагаемый способ уменьшения фаззи-воздействия оптической воздушной массы на точность калибровки фотометрических систем. Показано, что в частном случае в предлагаемом методе оптическая масса изменяется в диапазоне $m - 1,5m$, в то время как в известном методе тот же диапазон определяется как $m - 3m$. При этом отклонение оптической массы озона от оптической воздушной массы при угле высоты Солнца 15° составляет $\approx 5\%$, а при 45° всего $0,2\%$. При угле 30° соответствующее отклонение составляет 1% . Следовательно, появляется возможность сузить диапазон применяемых углов от $15^\circ - 45^\circ$ до $30^\circ - 45^\circ$ и тем самым почти в 5 раз уменьшить погрешность вызванную отклонением оптической массы озона от оптической массы воздуха при низких углах высоты Солнца.

Приведены результаты проведенных экспериментальных исследований по измерению оптической толщины аэрозоля в течение суток. Измерения проводились с помощью лабораторного макета радиометра, блок-схема которого показана на рис. 1.

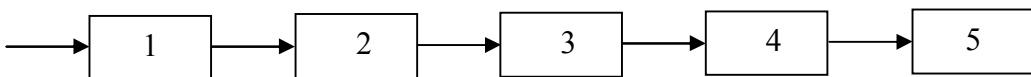


Рис.1. Блок-схема узкополосного оптического радиометра.

Цифрами обозначены: 1-узкополосный оптический фильтр; 2 – фокусирующий узел; 3 – фотоприемник; 4 – усилитель; 5 – цифровое отчетное устройство.

Измерения проводились один раз в неделю в течение одного месяца, в течение рабочего дня, на длине волны 0,48 мкм. В качестве фильтра использовался интерференционный фильтр, изготовленный в заводе «Арсенал» (г.Киев) в 1983 г. Для фокусировки оптического луча использовался фокусирующий конус, а в качестве фотоприемника использовали фоторезисторы типа ФСД-1.

Результаты проведенных измерений показаны на рис.2.

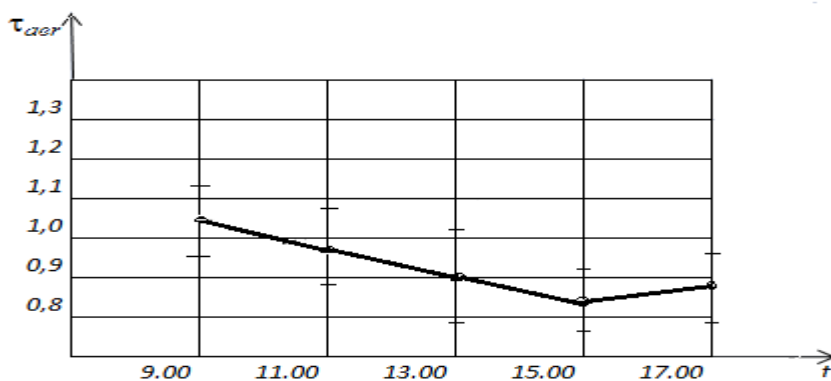


Рис.2. Результаты измерений оптической толщины аэрозоля. Показаны средние значения, полученные при проведенных серий экспериментов в течение месяца и среднеквадратические отклонения. итории ИКИПР, в сентябре 2014 года.

Показана возможность фаззи определения суммарного индекса качества воздуха по результатам проведенных измерений атмосферного аэрозоля и газов. Составлена таблица модельных

значений индексов качества воздуха и соответствующих шкал концентраций таких загрязнителей как O_3 ; $PM_{2,5}$ и CO (табл.1).

Модельные значения индексов качества воздуха и соответствующих шкал концентраций таких загрязнителей как O_3 ; $PM_{2,5}$ и CO

Таблица 1.

Количественная оценка индекса	Лингвистическая переменная	$PM_{2,5}$ мкг/м ³	O_3 мкг/м ³	CO мкг/м ³
0-200	хорошее	0-50	0-90	0-1
201-400	среднее	51-75	91-112,5	1-6
401-600	плохое	76-175	112,6- 150	6,1-8,5
601-800	очень плохое	176-210	151-400	8,6-17,5
801-100	опасное	> 211	> 400	>17,5

Каждый загрязнитель фазифицируется в отдельности. Для этой цели каждый загрязнитель снабжается набором графиков функций принадлежности. Процесс фазификации предусматривает трансформирование четких величин в нечеткие множества с помощью функций принадлежности и лингвистических переменных.

В табл.2 приведены результаты фаззи и интерполяционных вычислений. Как видно из данных приведенных в табл.2 результаты фаззи вычислений достаточно близки к значениям, полученным методом линейной интерполяции.

Результаты вычислений концентраций загрязнителей воздуха по методу фаззи множеств и по методу линейной интерполяции

Таблица 2.

Загрязнитель Тип знач.вычисл.	$PM_{2,5}$ мкг/м ³	O_3 мкг/м ³	CO мкг/м ³
фаззи	115,3	222,4	9,23
линейная интерполяция	114,33	213,3	9,17

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Показано, что определения условий минимального роста концентраций озона в двух чередующихся днях при соответствующем изменении метеообстановки может быть решена с применением нечетких множеств для формирования некоторых ограничительных условий используемого для решения задачи метода линейного программирования.

2. Показано, что структурное представление атмосферы в виде последовательно включенных эквивалентных слоев паров воды и аэрозоля, позволяет решить задачу инверсного определения общего количества водяных паров с применением регуляризации решения.

3. Показано, что применение таких методов исследования как фаззи-предсказание; адаптивное управление и оптимизация позволяет усовершенствовать известный метод одноволновой калибровки фотометров при двух оптических массах.

4. Предложен метод оптимизации солнечно-фотометрических измерений, позволяющий осуществить оптимальный выбор режима измерения атмосферного озона и аэрозоля в зависимости от значения параметров этих атмосферных компонентов.

5. Предложен двухволновый метод калибровки солнечных фотометров позволяющий повысить точность, полученную при фотометрических измерениях с использованием одноволновой калибровки по известному методу.

6. Показана возможность оптимизации многоциклового процесса фотофрагментационного лазерно-флуоресцентного метода измерения атмосферного аммиака в адаптивном режиме.

7. Показана возможность перехода на адаптивный режим измерения общего количества паров воды в атмосфере с помощью солнечных фотометров.

8. Показано существование специфического инварианта для радиации, отраженной от крупнодисперсного морского аэрозоля. Сформулированы требования к точностным характеристикам солнечных фотометров в оптимальном режиме измерения.

**Основные результаты диссертационной работы отражены в
следующих публикациях**

1. Гусейнова Р.О. Оптимизация солнечно-фотометрического метода измерения малых газовых компонент и аэрозоля в атмосфере // Мир измерений. М., 2014, № 10(164), с.36-40.
2. Агаев Ф.Г., Джавадов Н.Г., Гусейнова Р.О., Протасов В.В. Оптимизация фотофрагментационного лазерно-индуцированного флуоресцентного метода адаптивного измерения аммиака в атмосфере в ультрафиолетовом диапазоне // Известия Юго-Западного Государственного университета, Курск, 2014, № 5, с. 123-126.
3. Гусейнова Р.О. Метод адаптивного управления калибровкой мультиспектральных фотометрических систем атмосферных измерений // Информационно-управляющие системы. М., 2014, № 5(72), с. 110-113.
4. Гусейнова Р.О. Метод линейно-фаззи программирования для решения оптимизационных задач прогнозирования появления приземного озона // Вестник Кибернетики». М., 2014, № 3(15), с.40-46.
5. Гусейнова Р.О. Вопросы разработки интеллектуальной системы калибровки солнечных фотометров для атмосферных измерений малых газов // Специальная техника, М., 2014, № 6, с. 35-40.
6. Гусейнова Р.О. Метод точной двухволновой калибровки солнечных фотометров // AzMIU, Elmi əsərlər, №1, Bakı, 2014, s.73-76.
7. Агаев Ф.Г., Гусейнова Р.О. О возможности применения метода регуляризации при фотометрических измерениях общего количества водяных паров в атмосфере // Геодезия и Картография, М., 2014, № 12, с. 17-21.
8. Гусейнова Р.О. Калибровка фотометрических систем атмосферных измерений с использованием нечетких множеств // Измерительная техника, М. 2015, № 3, с.45-48.
9. R.O. Huseynova Calibration of fotometric systems for atmospheric measurements with the use of fuzzy sets // Springer, DOI 10.1007/s11018-015-0705-3 Measurement Techniques, Vol.58, No. 3, June, 2015, p. 309-313, IF 0.282(2014)
10. Агаев Ф.Г., Джавадов Н.Г., Гусейнова Р.О. Вопросы фотометрического контроля аэрозольной обстановки в атмосфере над морскими территориями / Сборник материалов X международной научно-практической конференции «Аграрная наука сельскому хозяйству». Книга 4., Барнаул, 2015, с. 332-333.

11. Гусейнова Р.О. Двухволновый метод калибровки солнечных фотометров повышенной точности // «Известия вузов. Приборостроение», М. 2015, № 5, том 58, с.393-396.
12. Агаев Ф.Г., Гусейнова Р.О. Оптимизация фотофрагментационного лазерно-индуцированного флуоресцентного метода адаптивного измерения аммиака в атмосфере // Материалы 5-ой международной межвузовской научно-практической конференции. 2-й выпуск. Великие Луки, 2015, с.73-77.
13. Агаев Ф.Г., Гусейнова Р.О., Мамедбейли А.Г. Вопросы построения адаптивной системы измерения общего количества водяных паров в атмосфере на базе солнечного фотометра // *Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyi*nin Xəbərləri, Bakı, 2015, №1(18), s.53-58.

Личный вклад соискателя в трудах, опубликованных в соавторстве:

- [2,12] – предложен метод оптимизации фотофрагментационного лазерно-индуцированного флуоресцентного метода адаптивного измерения аммиака с использованием процедуры вариационного исчисления.
- [7] – разработка упрощенной модели атмосферы и анализ возможности применения метода регуляризации А.Н.Тихонова при фотометрических измерениях общего количества водяных паров в атмосфере.
- [10] – предложен метод фотометрического контроля оптической толщины атмосферного аэрозоля с учетом специфики аэрозольного загрязнения над морскими территориями.
- [13] – предложен метод адаптивного измерения общего количества водяных паров в атмосфере с помощью солнечного фотометра.

Hüseynova Rəna Ömər qızı
ATMOSFERDƏ AEROZOL VƏ KİÇİK KONSENTRASIYALI
QAZLARA NƏZARƏT VƏ ONLARIN ÖLÇÜLMƏSİ ÜÇÜN
İNTELLEKTUAL SİSTEMLƏRİN İŞLƏNİLMƏSİ

XÜLASƏ

Atmosfer aerosolu və kiçik qazlara nəzarət və onların ölçülməsində intellektual sistemlərin işlənilib hazırlanması və tədqiqi üçün kompleks tədqiqatlar aparılmışdır. Yerüstü ozonun proqnozlaşdırılması üzrə optimallaşdırma məsələlərinin həlli üçün xətti-fazzi proqramlaşdırma metodu təklif edilmişdir. Atmosferdə olan su buxarlarının ümumi miqdarının fotometrik ölçülməsində requlyarizasiya metodunun tətbiqi imkanı nəzərdən keçirilmişdir. Optik kütlələrin nisbəti əmsalının fazzi idarə edilməsini nəzərdə tutan fotometrik atmosfer ölçmələri sisteminin kalibrasiya metodu təklif edilmişdir. Multispektral fotometrik atmosfer ölçmələri sisteminin kalibrasiyasının adaptiv idarəetmə metodu təklif edilmişdir.

Atmosferdə olan su buxarlarının ümumi miqdarının günəş fotometri əsasında ölçülməsi üçün adaptiv sistemin yaradılması məsələləri nəzərdən keçirilmişdir. Günəş fotometrələrinin yüksək dəqiqliklə kalibrasiya etmək üçün iki dalğa uzunluqlu adaptiv metod təklif edilmişdir.

Fotometrik ölçmə qurğusunun kalibrasiya prosesinin adaptiv idarə edilməsi üzrə model tədqiqatları aparılmışdır. Müxtəlif atmosfer ölçmələri metodları ilə atmosferdə olan aerosolun və ozonun optik qalınlığının ölçülməsi xətalarının qarşılıqlı əlaqəsi təhlil edilmişdir. Atmosferdə olan ammoniyakın fotofraqmentasyon lazer-induksiyal, ultrabənövşəyi diapazonda flüorescent adaptiv ölçmə metodu optimallaşdırılmışdır. Atmosferdə olan kiçik qaz komponentlərinin və aerosolun günəş fotometri ilə ölçülmə metodu optimallaşdırılmışdır.

Dəniz əraziləri üzərində atmosferdə aerosol şəraitinə fotometrik nəzarətin bəzi məsələləri nəzərdən keçirilmişdir. Atmosferdəki aerosolun optik qalınlığının fazzi proqnozlaşdırıcısının işlənməsi üzrə model tədqiqatları aparılmışdır. Optik hava kütləsinin fotometrik sistemlərin kalibrasiya dəqiqliyinə fazzi təsirin azaldılması üsulu təklif edilmişdir. Əsas çirkləndirici maddələrin konsentrasiyası nəzərə alınmaqla havanın keyfiyyətinin fazzi müəyyənəşdirilməsi imkanlarının model tədqiqatları yerinə yetirilmişdir.

Huseynova Rena Omar

**DEVELOPMENT OF SMART SYSTEM FOR CONTROL AND
MEASURING OF ATMOSPHERIC AEROSOL AND TRACE
QASES**

SUMMARY

The complex researches on development of smart systems for control and measuring of aerosol and trace gases in atmosphere are held. The linear-fuzzy programming method for solution of optimization tasks on prediction of occurrence of ground ozone has been suggested. The possibilities for use of regularization method of results of photometric measurements of total amount of water vapors in atmosphere are considered. The calibration method for photometric system designated for atmospheric measurements featured by fuzzy control of optic masses ratio is suggested. The adaptive control method for calibration of multispectral photometric atmospheric measurements system is suggested. The questions on development of adaptive system for sun-photometric measurements of total amount of water vapors in the atmosphere are considered.

The two wavelengths adaptive method for high accuracy calibration of sun photometers is suggested. The model studies are held on adaptive control of calibration process of photometric measuring instrument. The interrelations of errors occurred in measurements of optical depth of atmospheric ozone and aerosol using different atmospheric measuring methods are analyzed. The photofragmentation laser induced fluorescent adaptive method for measuring of atmospheric ammonia is optimized. The sun photometric method for measuring of atmospheric trace gas components and aerosol is optimized. Some questions of photometric control of aerosol loading condition in the atmosphere over the maritime territories are considered. The model studies are held on development of fuzzy predictor of optical depth of atmospheric aerosol. The method for reduction of fuzzy effect of optical air masses on calibration accuracy of photometric system is suggested. The model studies of possibilities for fuzzy determination of air quality taking into account the concentration of major pollutants have been carried out.

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİ İNSTİTUTU

Əlyazma hüququnda

RƏNA ÖMƏR QIZI HÜSEYNOVA

ATMOSFERDƏ AEROZOL VƏ KİÇİK KONSENTRASIYALI
QAZLARA NƏZARƏT VƏ ONLARIN ÖLÇÜLMƏSİ ÜÇÜN
İNTELLEKTUAL SİSTEMLƏRİN İŞLƏNİLMƏSİ

3337.01 - *İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri*

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

AVTOREFERATI

Bakı – 2016