

мы. Поэтому целесообразно возложить разрешение конфликтов на саму ячейку коммутации, снабдив ее собственным локальным устройством управления.

Необходимо также учесть, что при достаточно большой длине пакета данных может сложиться ситуация, когда на момент выполнения очередной операции идентификации еще не закончено обслуживание предыдущего требования на установление соединения (т.е. еще продолжается передача пакетов). В этом случае требуется предусмотреть систему блокирования задействованных ячеек матрицы коммутации, а также строк и столбцов матрицы, в которых находятся такие ячейки. Незаблокированные ячейки должны быть потенциально доступны для установления следующих соединений.

Таким образом, матрица элементов коммутации является сложной системой и должна выполнять операцию идентификации пакета, производя в каждом своем элементе сравнение идентификатора, содержащегося в заголовке пакета с идентификатором выходного канала системы. Кроме того, матрица должна производить необходимые блокировки строк и столбцов, в случае когда соединение установлено, и разблокировку по внешнему сигналу по окончании передачи пакета. Еще одной функцией матрицы коммутации является оценка приоритетов при попытке установить соединение к одному и тому же выходу и разрешение конфликта. Для выполнения всех этих функций необходимы элементы коммутации, содержащие локальные устройства управления. Причем элементы коммутации должны выполнять все эти функции совместно, действуя как единая подсистема параллельной пространственной коммутационной системы.

Библиографический список

1. *Дудко, А. Л.* Неблокирующие коммутационные схемы [Текст] / А. Л. Дудко. – М.: ВЦ АН СССР, 1990. – 59 с.
2. *Мальцева, Н. С.* Коммутационная структура с параллельной идентификацией для многопроцессорных вычислительных систем [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Наталья Сергеевна Мальцева. – Астрахань, 2008.
3. *Пат.* №73568. Российская федерация. Ячейка коммутации для многокаскадных коммутирующих систем [Текст] / Жила В. В., Мальцева Н. С., Барабанова Е. А.; заявитель и патентообладатель Астрахан. гос. техн. ун-т. – № 2007147277; заявл. 18.12.2007; опубл. 20.05.2008, БИ № 14.

УДК 681.2.08

КЛАССИФИКАЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ СРЕДЫ

И.Р. Ильясов

Проводится анализ существующей информации о спектрометрах для анализа водной среды, представлена классификация спектральных методов анализа, описаны принципы действия, конструкции, достоинства и недостатки спектрометров. Проведен сравнительный анализ данных спектрометров, в результате которого установлено, что акустооптические спектрометры являются наиболее перспективными для информационно-измерительных систем экологического мониторинга водной среды.

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: спектрометр, водная среда, информационно-измерительная система, экологический мониторинг.

Key words: spectrometer, water environment, information-measuring system, ecological monitoring.

В связи с широким внедрением спектрального анализа во многие отрасли промышленности растет потребность в высококачественной спектральной аппаратуре для решения как технологических, так и экологических проблем. Из-за непростой экологической обстановкой актуальной становится проблема разработки принципиально новых спектрометров с возможностью их интегрирования в информационно-измерительные системы экологического мониторинга водной среды, которые должны обладать следующими характеристиками: большой динамический диапазон измерений, стабильность характеристик, высокая скорость измерений, возможность дистанционного измерения, помехоустойчивость, устойчивость к изменению параметров окружающей среды (температуры, влажности, вибрации и т.д.), высокая чувствительность, универсальность, селективность, высокая надежность, простота конструкции.

Все это требует обобщения, анализа и систематизации информации о существующих спектрометрах для анализа водной среды. Авторами была проанализирована такая информация, приведена классификация спектральных методов анализа водной среды, описаны спектрометры на их основе и проведен их сравнительный анализ, результаты которого представлены в данной статье.

Спектральные приборы предназначены для проведения исследований излучения в широком спектральном диапазоне (от мягких рентгеновских лучей до миллиметровых радиоволн), непосредственно испускаемого различными физическими телами или трансформированного в результате взаимодействия этого излучения с материей, которое проявляется в поглощении излучения, его отражении, рассеянии или люминесценции. Таким образом, спектральные приборы исследуют само излучение как сигнал, посылаемый нам материей и дающий информацию о ее строении [6].

Анализ известной научно-технической и патентной литературы, посвященной спектральным приборам, показал, что последние основаны на различных физических явлениях. На рис. 1 приведена классификация основных спектральных методов, на основе которых функционируют спектрометры анализа водной среды.

Рассмотрим подробнее каждый из этих методов и спектрометры на их основе.

Атомно-абсорбционная спектроскопия основана на поглощении электромагнитного излучения свободными атомами в невозбужденном состоянии. Величина аналитического сигнала связана с концентрацией атомов в основном в невозбужденном состоянии и, следовательно, с концентрацией элемента в анализируемом образце. Измеряя долю поглощенного электромагнитного излучения, можно количественно определить содержание соединений определяемого элемента [1].

Спектрометр с электротермическим атомизатором показан на рис 2. Аликвота анализируемой пробы – до 10 мкл (в виде раствора) – вводится в отверстие графитовой трубки ручным дозатором (микропипеткой). За счет мощного дугового разряда проба мгновенно испаряется. Графитовая кювета располагается внутри охлаждаемого водой кожуха. Свет, прошедший через графитовую печь, с помощью линз фокусируется на входной щели монохроматора, который выделяет спектральный интервал, содержащий используемую резонансную линию определяемого элемента.



Рис. 1. Классификация спектральных методов анализа водной среды

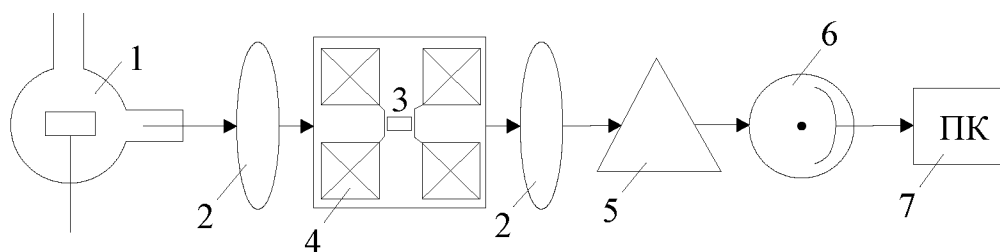


Рис. 2. Схема атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией пробы: 1 – источник излучения; 2 – оптическая система; 3 – электротермический атомизатор, 4 – графитовая трубчатая печь; 5 – монохроматор; 6 – фотоэлектрический преобразователь; 7 – персональный компьютер

Пройдя через монохроматор, свет поступает на фотоэлектрический преобразователь, его напряжение на выходе пропорционально интенсивности излучения. Этот сигнал формируется в цифровые сигналы, которые передаются компьютеру, где вычисляется выходной сигнал истинной абсорбционности, который зависит только от концентрации определяемого элемента в аналитической ячейке, прямо пропорциональной концентрации элемента в анализируемой пробе [3].

Преимущества атомно-абсорбционных спектрометров можно сформулировать следующим образом: метод обладает высокой селективностью, имеет низкие пределы обнаружения, позволяет определять несколько элементов из одного раствора, подготовка проб к измерениям простая, процедура анализа автоматизирована. Однако атомно-абсорбционные спектрометры обладают невысокой точностью, подвержены влиянию многих помех (химические помехи вызваны влиянием основ пробы, что приводит к изменениям при образова-

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

нии свободных атомов; спектральные помехи вызваны наличием неспецифичного поглощения света компонентами основы), сложная конструкция прибора обуславливает низкую надежность, инерционность и невозможность его использования дистанционно.

Сущность атомно-эмиссионной спектроскопии – определение элементного состава вещества по оптическим спектрам излучения атомов и ионов анализируемой пробы, возбуждаемым в источниках света. Принцип метода заключается в следующем: атому сообщается энергия, обычно посредством соударений с высокотемпературными атомами и молекулами в источнике, где происходит атомизация и возбуждение, которое сводится к электронным переходам внутри атома с более низких уровней на более высокие. Образовавшийся возбужденный атом может потерять приобретенную энергию в процессе излучения и вернуться в первоначальное состояние. Интенсивность излучения при данной концентрации атомов определенного элемента в источнике пропорциональна температуре источника возбуждения. Интенсивность эмиссионной спектральной линии может быть использована в качестве аналитического сигнала для определения концентрации элемента [4].

Схема атомно-эмиссионного спектрометра (пламенного фотометра) показана на рис. 3.

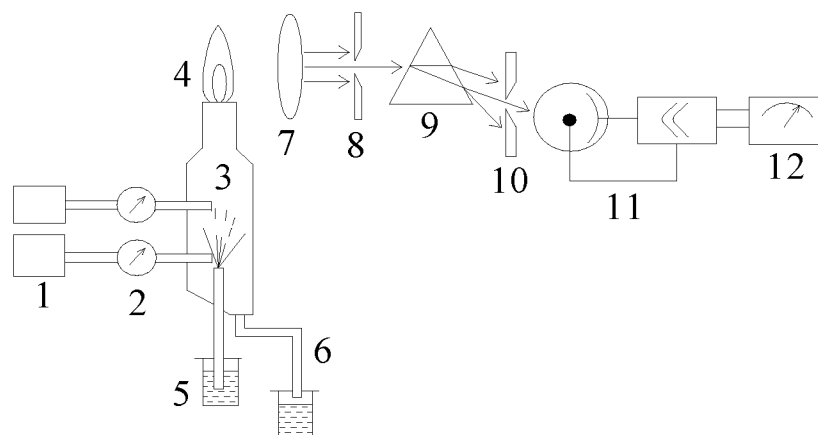


Рис. 3. Схема атомно-эмиссионного спектрометра:

- 1 – емкости с компонентами горючей смеси; 2 – регуляторы давления; 3 – распылительная камера;
4 – горелка; 5 – исследуемый раствор; 6 – устройство для осушения распылительной камеры;
7 – фокусирующая линза; 8 – входная щель; 9 – призма, разделяющая излучение по длине волны, или светофильтр; 10 – выходная щель; 11 – фотоэлектрический детектор,
12 – регистрирующее устройство

Основными достоинствами атомно-эмиссионного спектрометра являются низкие аналитические пределы обнаружения многих элементов, хорошая селективность, быстрота выполнения анализа и возможность одновременного многоэлементного определения. Основные недостатки связаны с типом используемого источника возбуждения, неразделенностью процессов атомизации и возбуждения, сложной конструкцией, чувствительностью к тряскам и вибрациям [2].

Флуориметрический метод анализа основан на возбуждении электронных спектров испускания молекул определяемого вещества при внешнем УФ-облучении и измерении интенсивности их фотолюминесценции. Для возникновения явления люминесценции молекулы вещества необходимо перевести из основного состояния в возбужденное с длительностью его существования, достаточной для осуществления излучательного электронного перехода из возбужденного состояния в основное. Флуориметрический спектрометр для анализа водной среды – анализатор жидкости – предназначен для измерения массовой концентрации неорганических и органических примесей в воде. Принцип работы спектрометра иллюстрируется

оптической схемой (рис. 4), которая может быть условно разбита на три канала: опорный (возбуждения); регистрации люминесценции и пропускания (фотометрический) [7].

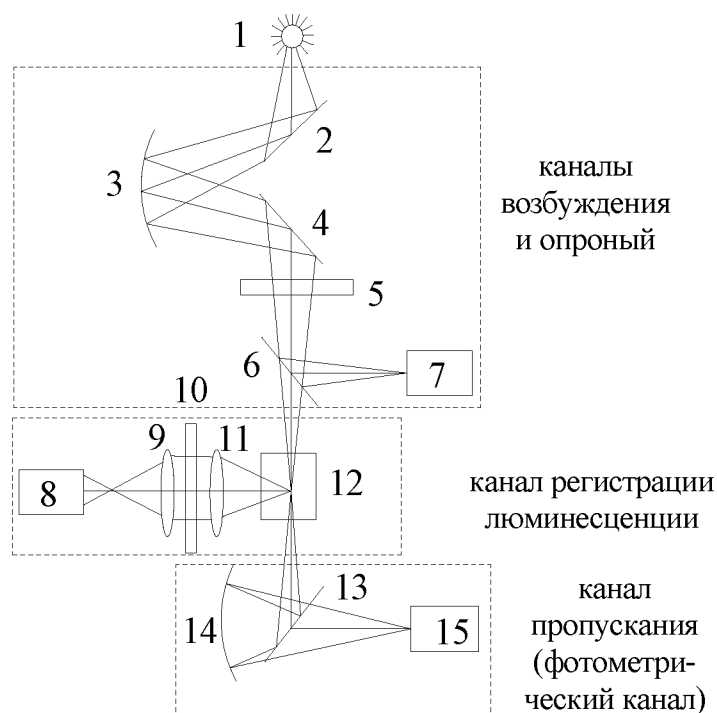


Рис. 4. Оптическая схема флуориметрического спектрометра:

- 1 – источник света; 2–4 – система зеркал канала возбуждения; 5 – светофильтр канала возбуждения;
6 – светоделительная пластина опорного канала; 7 – фотоприемник опорного канала;
8 – фотоприемник канала регистрации; 9, 11 – фокусирующие линзы канала регистрации;
10 – светофильтр канала регистрации; 12 – кювета; 13 – светоделительная пластина канала пропускания;
14 – фокусирующее зеркало канала пропускания; 15 – фотоприемник канала пропускания

Данный метод и приборы на его основе характеризуются широким динамическим диапазоном концентраций, достигающим трех порядков ($10^{-7} \dots 10^{-4}$ М), высокой селективностью, чувствительностью.

К недостаткам можно отнести наличие помех (эффект концентрационного тушения люминесценции и самопоглощение), невысокая точность, сложность конструкции, высокая цена.

Инфракрасная (ИК) спектроскопия занимается изучением молекулярных спектров, так как в ИК-области расположено большинство колебательных и вращательных спектров молекул. ИК-спектроскопия исследует ИК-спектры, как поглощения, так и излучения. При прохождении ИК-излучения через вещество происходит его поглощение на частотах, совпадающих с некоторыми собственными колебательными и вращательными частотами молекул или с частотами колебаний кристаллической решетки. В результате интенсивность ИК-излучения на этих частотах падает – образуются полосы поглощения.

Упрощенная блок-схема двухлучевого сканирующего ИК-спектрометра с дифракционной решеткой представлена на рис. 5 [5].

Достоинствами ИК-спектрометров являются избирательность, высокая чувствительность, быстроедействие, пригодность для непрерывных измерений, точность.

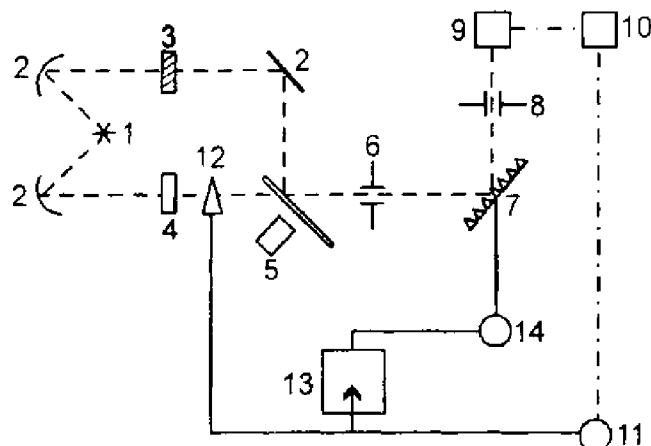


Рис. 5. Блок-схема двухлучевого сканирующего ИК спектрометра:

- 1 – источник ИК-излучения; 2 – система зеркал; 3 – рабочий пучок и образец; 4 – пучок сравнения и компенсатор фона; 5 – прерыватель-модулятор; 6 – входная щель монохроматора; 7 – диспергирующий элемент (дифракционная решетка или призма с зеркалом Литтрова); 8 – выходная щель монохроматора; 9 – приемник; 10 – усилитель; 11 – мотор отработки; 12 – фотометрический клин; 13 – самописец; 14 – мотор развертки

Акустооптические спектрометры (АОС) представляют собой новое семейство акусто-оптических преобразователей, не содержащих дифракционных решеток и механических движущихся частей. АОС предназначены для регистрации спектров оптического излучения ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов, для определения спектрально-оптических характеристик объектов и связанных с ними физических характеристик.

Физической основой функционирования АОС является дифракция оптического излучения на акустических волнах в кристаллах. Соответственно, основным элементом спектрометра является акустооптический фильтр (АОФ). Последний представляет собой кристалл, в котором с помощью ультразвуковой волны создается объемная дифракционная решетка, производящая селекцию заданной спектральной составляющей оптического излучения. На рис. 6 приведена структурная схема АОС [8].

Достоинствами акустооптических спектрометров являются: быстродействие (исключена инерционность механических элементов); надежность (нет перемещений, следовательно, нет трения и вызванных им поломок); высокая чувствительность; точность (нет люфтов, малая чувствительность к вибрации); миниатюрность (можно выполнить стационарную систему в переносном варианте); многофункциональность (обладает рядом новых свойств, например, управляемостью характеристик); универсальность; селективность; простота обслуживания. Единственным и основным недостатком АОС является высокая стоимость.

С целью сравнения существующих спектрометров для анализа водной среды и выделения наиболее подходящего для информационно-измерительной системы экологического мониторинга водной среды был проведен сравнительный экспертный анализ спектрометров по их технико-экономическим и эксплуатационным характеристикам, результаты которого приведены в таблице.

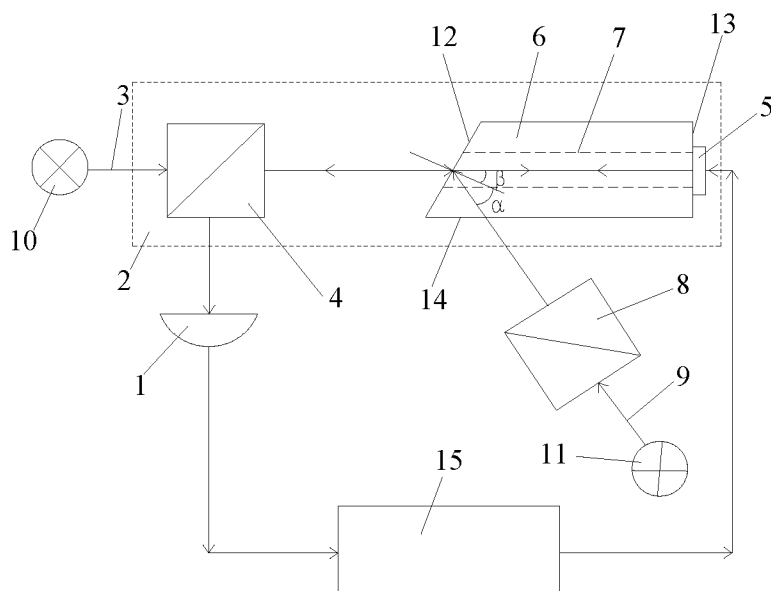


Рис. 6. Структурная схема акустооптического спектрометра:

- 1 – фотоприемник; 2 – акустооптический фильтр; 3 – первый световой луч; 4, 8 – поляризаторы;
 5 – электроакустический преобразователь; 6 – акустооптическая ячейка; 7 – звуковая волна;
 9 – второй световой луч; 10 – источник первого светового луча; 11 – источник второго светового луча;
 12 – входная грань акустооптической ячейки; 13 – выходная грань акустооптической ячейки;
 14 – боковая грань акустооптической ячейки; 15 – электронная система

Таблица

Сравнительный анализ характеристик спектрометров

Тип спектрометра	Атомно-абсорбционный	Атомно-эмиссионный	Флуориметрический	ИК	Акусто-оптический
Точность	3	4	3	5	5
Надежность	3	3	4	4	5
Простота конструкции	3	3	3	3	4
Чувствительность	4	4	5	5	5
Быстродействие	3	5	4	4	5
Диапазон измерения	5	4	4	4	5
Стоимость	4	4	4	3	3
Избирательность	5	5	4	4	4
Функциональность	3	3	3	4	5
Суммарный балл	33	35	34	36	41

Таким образом, как видно из таблицы, акустооптические спектрометры превосходят по многим показателям существующие спектрометры, наиболее полно соответствуют предъявляемым им требованиям, что делает их незаменимыми при проектировании и использовании информационно-измерительных систем экологического мониторинга водной среды.

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Библиографический список

1. *Алемасова, А. С.* Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия [Текст] : учеб. пос. / А. С. Алемасова, А. Н. Рокур, И. А. Шевчук ; под общ. ред. А. Б. Бланка. – Донецк : ДонГУ, 2003. – 327 с.
2. *Дробышев, А. И.* Основы атомного спектрального анализа [Текст] / А. И. Дробышев. – СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 2000. – 314 с.
3. *Гарифзянов, А. Р.* Эмиссионная фотометрия пламени и атомно-абсорбционная спектроскопия [Текст] : учеб. пос. / А. Р. Гарифзянов ; под общ. ред. Ю. И. Сальникова. – Казань : Казан. гос. ун-т им. В. И. Ульянова-Ленина, 2009. – 94 с.
4. *Королев, Н. В.* Эмиссионный спектральный микроанализ [Текст] / Н. В. Королев, В. В. Рюхин, С. А. Горбунов. – Л. : Машиностроение, 1971. – 196 с.
5. *Смит, А.* Прикладная ИК-спектроскопия [Текст] / А. Смит. – М. : Мир, 1982. – 321 с.
6. *Тарасов, К. И.* Спектральные приборы [Текст] / К. И. Тарасов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1974. – 368 с.
7. *Якунина, И. В.* Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг : учеб. пос. / И. В. Якунина, Н. С. Попов. – Тамбов : Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.
8. *Пат.* 2092797 Российская Федерация, МПК⁷ G01J 3/18. Оптический спектрометр и акусто-оптическая ячейка, входящая в его состав [Текст] / Пустовойт В. И., Шахрамьян М. А., Утяков Л. Л., Калинин Ю. К. – № 96109169/25 ; заявл. 17.05.1996 ; опубл. 10.10.1997, БИ № 28.