

УДК 543.422.3 + 533.275 + 681.785.557

© Ю. А. Поплавский, В. И. Сердюков, Л. Н. Сеница, А. П. Щербаков

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР-ГИГРОМЕТР "ЗИМА"

Описывается спектрофотометрический проточный гигрометр "Зима", предназначенный для измерения влажности газа при высоком давлении. Регистрация и обработка спектров проводится в области 1872 нм, где спектры поглощения паров воды и подавляющего числа газов, в том числе и углеводородов, поддаются селективному разделению при компьютерной обработке. Экспериментально подтверждена перспективность применения спектрофотометрического метода для определения концентрации паров воды в природном газе.

Кл. сл.: гигрометр, спектрофотометрический газоанализатор, метод регуляризации, дифракционный монохроматор, природный газ, точка росы

ВВЕДЕНИЕ

В современной науке и в ее различных приложениях в промышленности измерение и контроль параметров газовых сред являются актуальной задачей. Важную роль при обеспечении качества и характеристик во многих технологических процессах играет влажность газов. Для измерения влажности используют различные физические методы: кулонометрический, конденсационный, резистивный, емкостной, оптический метод поглощения, а также метод измерения относительной влажности — психрометрический. При измерениях пользуются абсолютной и относительной влажностью, а также температурой точки росы. В работе [1] и ссылках в ней описываются отличительные особенности вышеперечисленных методов и специфика использования различных единиц влажности.

Для определения влажности природного газа наиболее широко используется конденсационный метод [2, 3, 4]. Конденсационным методом можно измерять характеристику газа — температуру точки росы как по воде, так и по углеводородам [5, 6] и непосредственно определять качественное состояние газовых смесей в различных термодинамических условиях. При этом измерение абсолютного содержания воды затруднено и становится невозможным при изменении соотношения углеводородных составляющих в природном газе или при добавлении в него ингибиторов гидратообразования [7].

Все более широкое распространение при контроле качества и параметров газовых смесей приобретают спектрофотометрические методы измерения. В [8] на дифракционном спектрофотометрическом газоанализаторе с многоходовой кюве-

той при давлении 1 атм по спектрам поглощения определялись концентрации продуктов горения и пиролиза хвои кедра, а в [9] рассматривалась возможность непрерывного определения содержания паров воды в атмосферных условиях для разных спектральных диапазонов от 900 до 3100 нм.

При спектрофотометрическом методе определения влажности газа в отличие от конденсационного даже при добавлении в природный газ ингибиторов гидратообразования [7] по спектрам поглощения измеряется и вычисляется величина, пропорциональная общему содержанию паров воды в объеме. В случае, когда в газе присутствует вода в паровой и капельной фазах, возникает необходимость применения других физических методов измерения концентрации воды [10, 11, 12].

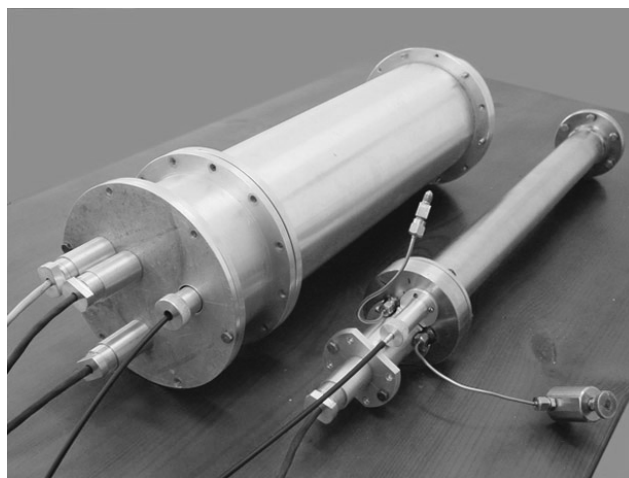


Рис. 1. Спектрофотометрический гигрометр "Зима"

В Лаборатории молекулярной спектроскопии Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева был разработан спектрофотометрический гигрометр "Зима" (рис. 1) во взрывозащищенном исполнении. Применение спектроскопии в сочетании с математической обработкой данных с использованием экспериментальных и расчетных [13] спектров позволило решить задачу, связанную с определением концентрации паров воды в газе высокого давления [14].

Целью настоящей работы является рассмотрение отличительных особенностей определения абсолютной концентрации паров воды в природном газе высокого давления в области 1872 нм на спектрофотометрическом гигрометре с проточной кюветой.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЛИБРОВОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

С развитием вычислительной техники и интенсивной компьютеризацией научного и промышленного оборудования возникает ситуация, когда компьютерная автоматизация спектрофотометров позволяет принципиально улучшить их характеристики. Для количественного газоанализа наибольшее внимание привлекают спектральные области, в которых регистрируемые газы имеют максимальные или значительные коэффициенты поглощения, а это, как правило, такие диапазоны, в которых спектральная информация собрана в базы данных и в настоящее время уточняется и расширяется (см., например, [15]). Интенсивности наиболее сильных молекулярных линий и полос описываются с высокой точностью, вполне достаточной для решения широкого круга прикладных задач. В связи с этим всегда существовал большой интерес к использованию этой информации при калибровке и непосредственно при эксплуатации спектральных приборов различного назначения [14, 16, 17]. Спектральные базы HITRAN [18], GEISA и HITEMP уже содержат несколько миллионов линий и довольно полно и точно описывают ИК-диапазон спектра. Они включают в себя достаточно достоверную экспериментальную и расчетную информацию о величине коэффициентов поглощения, уширения и сдвига для молекул. В перечень этих молекул входит значительная часть газов, в том числе метан и вода.

К сожалению, из-за неточностей в спектральных базах для параметров при больших давлениях при поиске функциональных зависимостей характеристик газов от их коэффициентов поглощения необходимо использовать значительное количество экспериментальных спектров. В то же время постоянное расширение и уточнение спектраль-

ных данных для метана и воды позволяет все более эффективно использовать информационные системы для моделирования поглощения [13, 19, 20] в целях сокращения количества экспериментальных спектров, регистрируемых по эталонным газовым смесям, что значительно упрощает калибровку фотометрических измерителей влажности.

Для того чтобы информацию из спектральных баз данных, формируемую с использованием интернет-информационной системы "Спектроскопия атмосферных газов" [13, 19] со сведениями о частотах, интенсивностях, температуре, коэффициентах уширения и сдвигов, использовать для определения концентраций интересующих газов и их смесей, модельные спектры приводились к единому виду с экспериментальными. Для этого выполнялась следующая последовательность шагов и операций [14]:

- определялось оптимальное соответствие банков данных для прибора таким параметрам, как диапазон, разрешение, аппаратная функция, ожидаемые концентрации и др.;

- на основе имеющихся спектральных баз генерировались банки данных образцов спектров газовых смесей с разрешением немного выше приборного с перекрытием всех необходимых концентрационных диапазонов, в том числе в сочетании с другими сопутствующими и мешающими газами;

- подбирались модели для учета нелинейного по шкале частот изменения разрешения;

- при изменении параметров с одновременным уменьшением разрешения экспериментальные и модельные спектры после самонормировки и фильтрации приводились к единому виду до совпадения преобразованных спектральных кривых.

Приборный банк данных образцов экспериментальных и модельных спектров паров воды и метана формировался для различных давлений и соотношений их содержания в смеси. Если известно, что исследуемое вещество является сочетанием нескольких известных и занесенных в банк данных калибровочных смесей, а его спектр является близким к линейной комбинации исходных спектров, тогда характеристики вещества могут вычисляться через концентрации исходных компонент. В предлагаемом алгоритме, концентрации базовых компонент вычисляются из системы уравнений включающей коэффициенты поглощения спектров в S точках, расположенных в выбранном спектральном диапазоне:

$$\sum_{j=1}^N (k_j \times T_{ij}) = I(v_i), \quad i = \overline{1, S},$$

где T_{ij} — элемент матрицы $\{T_{ij}\}$ ($i = \overline{1, S}$; $j = \overline{1, N}$, $S > N$, использовалось $S = 100$, а N от 2

до нескольких десятков) коэффициентов поглощения в точке i для базового спектра; k_j — искомые концентрации; $I(v_i)$ — коэффициенты поглощения в точке v_i для спектра исследуемого вещества; N — количество экспериментальных и модельных спектров в приборном банке данных.

Для получения физически осмысленных решений системы, содержащих только положительные значения k_j , впервые для решения подобной спектроскопической задачи применяется метод регуляризации [21] в виде дополнительных уравнений-неравенств

$$k_j \geq 0, \quad j = \overline{1, N}.$$

А регуляризирующее слагаемое берется в виде

$$J(\bar{k}) = \sum_{i=1}^S \left\{ I(v_i) - \sum_{j=1}^N \tilde{I}_{ij}(v_i) \times k_j \right\}^2 + \sum_{j=1}^N \left\{ A \times \xi(k_j)^2 \right\},$$

где $I(v_i)$ коэффициенты поглощения анализируемого спектра на информативных частотах v_i ; $\tilde{I}_{ij}(v_i)$ — коэффициенты поглощения на частотах v_i для экспериментального или расчетного спектра под номером j с известной величиной параметра или характеристики вещества (концентрации, проценты, температура и т. д.). Функция $\xi(k_j)$ отвечает за ограничение в отрицательной области значений k_j :

$$\xi(k_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } k_j \geq 0, \\ k_j, & \text{если } k_j < 0. \end{cases}$$

Коэффициент регуляризации A выбирается таким, чтобы значения k_j оказавшиеся отрицательными, не превышали по модулю требуемой ошибки определения концентраций. При $A = 0$ решение данной задачи будет совпадать с решением по методу наименьших квадратов.

В дальнейшем искомое значение характеристики f^* для анализируемого образца определяется путем подстановки найденных коэффициентов концентрации k_j контрольных газовых смесей и их наблюдаемых в эксперименте характеристик \tilde{f}_j спектров под номерами j :

$$f^* = \sum_{j=0}^N k_j \times \tilde{f}_j.$$

В представленном выше методе положительных концентраций, выбор настроечного параметра регуляризации A зависит от конкретной задачи, оптических параметров спектроанализатора и других особенностей, возникающих при нахождении

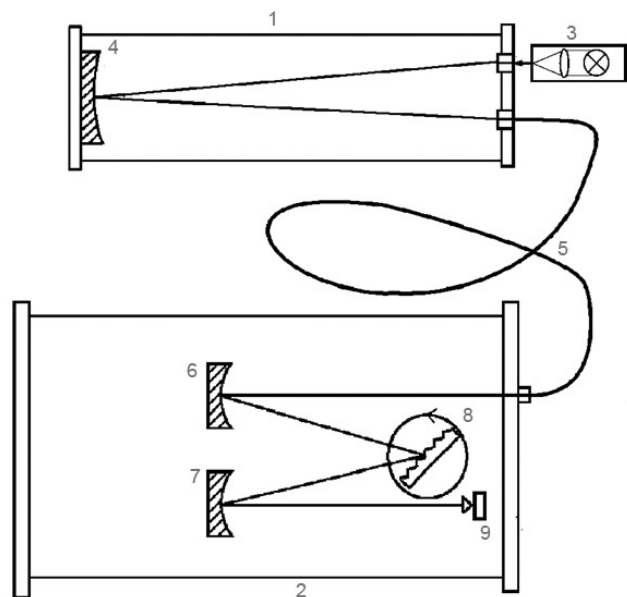


Рис. 2. Функциональная оптическая схема спектрофотометрического гигрометра "Зима".

1 — двухпроходная газовая кювета высокого давления; 2 — сканирующий однолучевой монохроматор; 3 — источник излучения; 4 — сферическое зеркало; 5 — световод; 6, 7 — сферические зеркала; 8 — дифракционная решетка; 9 — фотоприемник

интересующих характеристик исследуемого вещества. В дальнейшем возможен поиск функциональных зависимостей по банкам данных с учетом совмещающих экспериментальные и модельные спектры параметров [14].

Для проведения анализа состава газов по спектрам можно использовать и другие математические методы. Среди них можно выделить алгоритм для разделения смесей произвольного состава [22, 23], основанный на статистическом методе Монте-Карло, который можно использовать для качественного и количественного анализа многокомпонентных смесей, а именно для восстановления спектров индивидуальных соединений и их концентраций по спектрам линейных смесей компонент. В [16] впервые был описан алгоритм поиска функциональных зависимостей характеристик вещества от спектров поглощения методом регрессионного анализа с регуляризацией параметров.

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ГИГРОМЕТР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Спектрометр представляет собой сканирующий однолучевой дифракционный монохроматор с газовой кюветой высокого давления. Принцип дей-

ствия основан на измерении и анализе спектров поглощения газа в ближней ИК-области. Параметры газов зависят от концентраций входящих в них компонент, содержание которых устанавливается по соотношениям интенсивностей поглощения на различных спектральных участках.

На рис. 2 приведена функциональная оптическая схема спектрофотометрического гигрометра "Зима". Спектрометр составляет двухпроходная газовая кювета высокого давления 1 с герметичными фланцами, сканирующей однолучевой монохроматор 2 с вращающейся дифракционной решеткой (600 штр./мм) и источник излучения 3 с галогеновой лампой. В кювете при давлении до 100 атм сформированный от лампы параллельный пучок света через входное окно попадает на сферическое зеркало 4 с фокусом 60 см, который и определяет длину оптического пути в кювете — за два прохода ~ 120 см. Сфокусированное зеркалом 4 излучение из кюветы через выходное окно попадает в световод 5. Монохроматор с базой 250 мм помещен в цилиндрический корпус с герметичными фланцами. Из световода излучение, попадая на сферическое зеркало 6 с фокусом 250 мм, формируется в параллельный пучок, падающий на вращающуюся с частотой ~ 1 –5 Гц дифракционную решетку (50×50 мм). Далее от решетки излучение падает на сферическое зеркало 7 с фокусом 250 мм, а затем попадает на фотоприемник 9. После усиления и оцифровки спектр через Ethernet-интерфейс (LAN) [24] передается на компьютер для дальнейшей обработки. Оптическая схема спектрометра обеспечивает разрешение 8 – 10 см^{-1} , что вполне достаточно для спектрофотометрического определения содержания паров воды в газе высокого давления. Блоки питания, управления и синхронизации, составляющие электрическую схему гигрометра, смонтированы в корпусе с монохроматором, а в его герметичном объеме при давлении 1 атм находится осушенный углекислый газ, от которого спектрофотометром регистрируется шесть реперов для коррекции частотной шкалы. На рис. 3 кривая 1 представляет собой комбинированный спектр поглощения паров воды (концентрация ~ 5500 $\text{мг}/\text{м}^3$ в кювете с воздухом при давлении 10 атм) и углекислого газа (в монохроматоре при давлении 1 атм). После самонормировки, фильтрации и логарифмирования [16] этот спектр принимает форму кривой 2, позволяющую газоанализатору работать с высокой точностью в автоматическом непрерывном режиме [9].

В диапазоне 1800–1940 нм с центром ~ 1872 нм регистрируется поглощение паров воды, находящихся в кювете, а с 1940 до 2090 нм — углекислого газа, находящегося в монохроматоре и имеющего в этой спектральной области три полосы поглощения, по которым производится калибровка

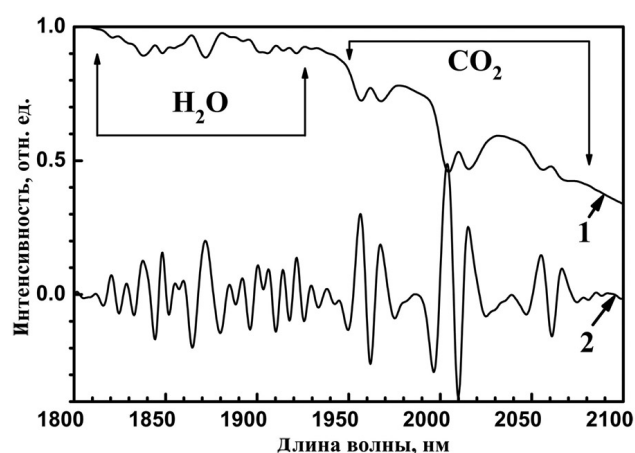


Рис. 3. Комбинированный спектр поглощения паров воды при концентрации ~ 5500 $\text{мг}/\text{м}^3$ в кювете с воздухом при давлении 10 атм и углекислого газа в монохроматоре при давлении 1 атм.

1 — регистрируемый спектр; 2 — этот же спектр после самонормировки, фильтрации и логарифмирования

частотной шкалы спектрофотометрического гигрометра.

Спектроанализатор может работать в непрерывном автоматическом режиме [25] с выдачей данных на сервер [17], в том числе через GSM модем. Он позволяет проводить измерение качественных и количественных характеристик газов, в том числе и многокомпонентных. Оригинальное программное обеспечение дает возможность проводить статистическое накопление, определять концентрации водяного пара по записанным в банке данных экспериментальным и модельным спектрам. Обработка информации производится с применением компьютерных программ на основе оригинальных алгоритмов и методов теории распознавания образов [16, 26].

Для количественного определения содержания паров воды в газе необходимо решить задачу определения концентрации для многокомпонентных смесей с перекрытием большого диапазона измеряемых коэффициентов поглощения. Эту задачу позволили решить спектроскопические методы анализа и математические алгоритмы автоматического поиска в спектрах информативных точек [16] в сочетании с моделью положительных концентраций с применением регуляризации.

Гигрометр "Зима" позволяет измерять концентрацию водяного пара по записанным в базу данных спектрам при различных концентрациях, давлениях и температурах исследуемого газа. Спектрофотометрический газоанализатор имеет взрывозащищенное исполнение и может применяться в соответствии с требованиями ГОСТ и Ру-

ководства по эксплуатации во взрывоопасных зонах помещений, где возможно образование взры-

воопасных смесей. Гигрометр "Зима" имеет следующие характеристики:

1. Диапазон давлений газа, МПа	2.5–7.5
2. Тип гигрометра	Проточный
3. Измеряемая концентрация паров воды, мг/м ³	30–40 000
4. Пересчитанная из концентрации температура точки росы по воде в природном газе, °С	–35...+15
5. Абсолютная погрешность определения точки росы, °С	1
6. Рабочая температура среды, °С	–20...+35
7. Время проведения одного цикла измерений не более, мин	8
8. Время выхода на режим не более, мин	15
9. ТУ на выпуск, полученный на гигрометр	СШЖИ 2.844.015 ТУ

На рис. 4 приведен график изменения концентрации паров воды во время одного из циклов испытания реактора, повышающего потребительские и транспортировочные качества природного газа [27] на Мыльджинском газоконденсатном месторождении Томской области. При испытании реактора в разных режимах диапазон измеряемых концентраций содержания воды изменялся от ~ 100 мг/м³ до ~ 11 000 мг/м³. При переводе абсолютного содержания паров воды в природном газе в температуру точки росы по воде использовались значения температуры точки росы влаги природного газа, приведенных к давлению 3.92 МПа и концентрации паров воды. Диапазон измеряемых концентраций содержания воды по точке росы составлял от –40 до +8°С. При этом погрешность измерений составляла менее 1°С, а воспроизводимость не хуже 0.25°С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спектроскопический метод позволяет в непрерывном режиме определять по спектрам поглощения концентрацию паров воды в природном газе в области 1872 нм. Высокая чувствительность и селективность по газовым компонентам дали возможность перекрыть большой диапазон измеряемых концентраций воды (30–40 000 мг/м³) при давлениях 2.5–7.5 МПа.

Спектрофотометрический гигрометр "Зима" в опытном режиме испытывался на одной из газоизмерительных станций (ГИС) "Тюменьтрансага" и успешно использовался на Мыльджинском газоконденсатном месторождении Томской области в качестве измерительного средства для контроля содержания паров воды при испытании реактора с УФ-излучением, повышающего потребительские и транспортировочные качества природного газа [27]. Была показана перспективность дальнейшего развития спектрофотометрического метода для

решения широкого круга исследовательских и прикладных задач, где необходим контроль влажности.

Возможные области применения спектрофотометрического гигрометра — газовая, нефтяная и химическая промышленность и другие отрасли народного хозяйства, где необходим контроль концентрации паров воды в технологических процессах. Значительный интерес спектрофотометр может представлять при проведении научных исследований с целью изучения спектров поглощения газов при высоких давлениях, а также в качестве вспомогательного средства для экспериментального уточнения формул и таблиц пересчета показателей влажности на различные давления [28, 29].

Таким образом, объединение возможностей спектроскопии и математических методов обработки данных позволяет создавать автоматизированные приборы, которые способны намного по-

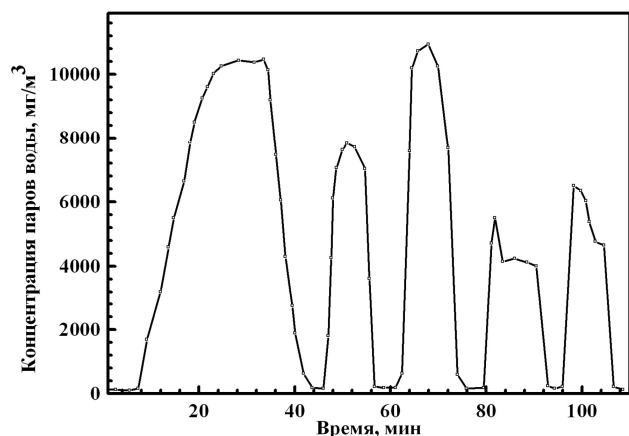


Рис. 4. Изменение концентрации паров воды, зарегистрированное спектрофотометрическим гигрометром "Зима" во время одного из циклов испытания реактора с УФ-излучением

высить эффективность спектроскопических методов и значительно облегчить сложную работу, связанную с анализом спектров при контроле параметров природного газа как при его добыче, так и при транспортировке и переработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пеклер В.В., Мамонтов Г.М. Состояние и перспективы развития гигрометров и средств их метрологического обеспечения // Научное приборостроение. 2003. Т. 13, № 3. С. 12–18.
2. Истомин В.А. Влагомеры конденсационного типа // Газовая промышленность. 2000. № 12. С. 39–41.
3. Деревягин А.М., Селезнев С.В., Агальцов А.Г. и др. Технологическое применение анализаторов точки росы газа серии КОНГ // Газовая промышленность. 2005. № 3. С. 42–44.
4. Костюков В.Е. Алгоритмы определения температуры точки росы попутного нефтяного и природного газов конденсационными гигрометрами // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2007. № 2. С. 10–21.
5. Деревягин А.М. Лазерная информационно-измерительная система контроля точки росы газа по влаге и углеводородам // Газовая промышленность. 2005. № 4. С. 73–75.
6. Деревягин А.М. Анализатор "Конг-Прима-10": алгоритм измерения точек росы газа по влаге и углеводородам // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2007. № 6. С. 4–10.
7. Иванов С.И., Басниев К.С. Совершенствование методов предупреждения образования гидратов на различных этапах разработки месторождения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 12. С. 56–62.
8. Поплавский Ю.А., Сердюков В.И., Сеница Л.Н., Щербаков А.П. Спектрофотометрический газоанализатор // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14. С. 795–799.
9. Поплавский Ю.А., Сердюков В.И., Сеница Л.Н. и др. Спектрофотометрический контроль концентрации паров воды в атмосфере в непрерывном режиме // Электронный сборник материалов XV Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". 2008. URL: (<http://symp.iao.ru/ru/aoo/15/proceedings/A-05.pdf>).
10. Кирсанов С.А. Определение влагосодержания продукции газовых скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2007. № 12. С. 37–44.
11. Зинченко И.А., Кирсанов С.А., Шапченко М.М. Контроль содержания влаги в продукции газовых скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2005. № 1. С. 55–58.
12. Габа А.М., Седых А.А., Ибрагимов В.А. Гигрометр природного газа "Исток-4" // Газовая промышленность. 2008. № 2. С. 63–65.
13. Михайленко С.Н., Бабиков Ю.Л., Головкин В.Ф. Информационно-вычислительная система "Спектроскопия атмосферных газов". Структура и основные функции // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. С. 765–776.
14. Поплавский Ю.А., Щербаков А.П. Применение в газоанализаторах баз данных колебательно-вращательных спектров // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. С. 58–60.
15. Науменко О.В., Половцева Е.Р. База данных по поглощению сероводорода в области 4400–11400 см⁻¹ // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т. 16. С. 985–991.
16. Поплавский Ю.А., Щербаков А.П. Применение спектральных баз данных и метода регуляризации при подгонке калибровочных параметров дифракционных спектроанализаторов // Электронный сборник материалов XV Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". URL: (<http://symp.iao.ru/ru/aoo/15/proceedings/A-06.pdf>).
17. Поплавский Ю.А., Щербаков А.П., Куликов Г.Э. Использование распределенной сетевой архитектуры и платформы GNU/Linux в непрерывных спектрофотометрических анализаторах // Свободное программное обеспечение: разработка и внедрение. Тезисы Всероссийской научно-практической конференции. Томск: изд-во ИОА СО РАН, 2008. С. 79–82. URL: (<http://freeschool.altlinux.ru/wp-content/uploads/2008/06/thesis-tomsk-2008.pdf>).
18. URL: (<http://www.cfa.harvard.edu/HITRAN>).
19. URL: (<http://spectra.iao.ru/>).
20. URL: (<http://www.iao.ru/ru/resources/info>).
21. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. 2-е изд. М.: Наука, 1979. 284 с.
22. Astakhov S.A., Stoegbauer H., Kraskov A., Grassberger P. Monte Carlo Algorithm for Least Dependent Non-Negative Mixture Decomposition // Analytical Chemistry. 2006. N 78. P. 1620–1627.
23. ZhiChao L., WenSheng C., XueGuang S. Outlier Detection in Near-Infrared Spectroscopic Analysis by Using Monte Carlo Cross-Validation // Science in China. Series B: Chemistry. 2008. V. 51. P. 751–759.
24. URL: (<http://asd.iao.ru/pya/FOTO/zaozeoint.jpg>).
25. Поплавский Ю.А., Сердюков В.И., Сеница Л.Н., Щербаков А.П. Пат. 2284506 РФ. 2002 // Б.И. 2006. № 27.

26. Щербаков А.П. Применение методов теории распознавания образов для идентификации линий в колебательно-вращательных спектрах // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. С. 947–958.
27. Медведев Ю.В., Плыгалов Ю.И., Шубин М.Б. и др. Конверсия природного газа под действием УФ излучения // 8-й Петербургский Международный форум ТЭК. Сборник материалов "Инвестиции и инновации в ТЭК". Санкт-Петербург. 2008. С. 50–53.
28. Аграфонов Ю.В., Подмурная О.А., Дубовиков Н.И. Влияние неидеальности газа на измерение влажности // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т. 16. С. 745–746.
29. Гудков О.И., Дубовиков Н.И., Подмурная О.А. Установка для определения влагосодержания газов при давлении до 10 МПа // Измерит. техн. 2001. № 12. С. 58–59.

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
СО РАН, г. Томск*

Материал поступил в редакцию 1.04.2009.

SPECTROPHOTOMETRIC GAS ANALYZER-HYGROMETER "ZIMA"

Yu. A. Poplavskiy, V. I. Serdyukov, L. N. Sinitsa, A. P. Shcherbakov

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch of the RAS, Tomsk

The spectrophotometric flowing hygrometer "Zima" intended for the measurement of gas humidity at high pressure is described. Registration and processing of spectra is performed in the range of 1872 nanometers, where water vapor and overwhelming number of gases including hydrocarbons spectra, can be recognized by computer processing. Prospective use of spectrophotometric method for measuring water vapor concentration in natural gas was confirmed experimentally.

Keywords: hygrometer, spectrophotometric gas-analyzer, regularity method, grating monochromator, natural gas, dew point