

# Современное состояние и тенденции развития газоаналитического приборостроения для контроля промышленных выбросов в атмосферу

М.А. Булдаков, И.И. Матросов, А.А. Тихомиров\*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634021, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 2.10.2008 г.

На основании анализа объемов и состава газовых выбросов промышленных предприятий и транспорта России выявлены отрасли народного хозяйства, нуждающиеся в газоанализаторах. Исследовано современное состояние газоаналитического приборостроения в сфере разработки и производства портативных газоанализаторов и газоанализаторов стационарного типа. Рассмотрены основные направления развития портативных и стационарных газоанализаторов для контроля техногенных выбросов в атмосферу. Показано, что одним из перспективных направлений развития стационарных газоанализаторов является разработка газоанализаторов нового типа, основанных на использовании явления комбинационного рассеяния света.

*Ключевые слова:* загрязнение атмосферы, промышленные выбросы, газоанализ, СКР-газоанализатор.

## Введение

В настоящее время газовые среды играют важную роль в технологических процессах ряда промышленных производств. Прежде всего, огромное количество углеводородов сжигается в виде топлива или используется в качестве исходного сырья химических производств. С другой стороны, не менее значительные объемы техногенных газов образуются в виде отходов при горении и других технологических процессах, причем эти газы часто выбрасываются в атмосферу, порождая такие негативные явления, как парниковый эффект, озоновые дыры, кислотные дожди и смог [1, 2].

Контроль состава газовых сред осуществляется с помощью газоанализаторов, которые по их назначению и техническим параметрам можно разделить на три группы.

К первой группе относятся газоанализаторы для контроля качества воздуха жилой зоны и производственных помещений. Эти газоанализаторы предназначены для обеспечения нормальной жизнедеятельности людей и обладают очень высокой чувствительностью, поскольку обязаны контролировать содержание загрязняющих примесей в воздухе на уровне ПДК.

Ко второй группе относятся газоанализаторы для контроля газовых выбросов промышленных предприятий (и транспорта) в атмосферу, которые обусловлены незамкнутым характером технологи-

ческих процессов. Приборы этой группы обеспечивают экологический контроль за антропогенными источниками загрязнения природной среды и не нуждаются в столь высокой чувствительности, как приборы первой группы.

Газоанализаторы третьей группы служат для контроля за газовыми средами на производствах с замкнутыми технологическими циклами. Технические характеристики таких газоанализаторов сильно варьируются и в значительной мере определяются видом производства и их назначением (контроль стехиометрического состава газовой среды или наличием в ней нежелательных примесей).

В статье рассматривается современное состояние газоаналитического приборостроения и тенденции его развития относительно приборов второй группы на примере создания газоанализаторов на основе спонтанного комбинационного рассеяния (СКР-газоанализатор).

## Структура промышленных выбросов

Для определения потребностей народного хозяйства в газоанализаторах представляет интерес провести анализ структуры промышленных выбросов. В таблице, построенной на основании статистической информации по Российской Федерации, представленной в [3], приведено распределение по основным видам экономической деятельности суммарных объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в 2005 г. Также показан вклад в суммарные объемы выбросов пяти основных загрязнителей атмосферы: окиси углерода (CO), двуокиси серы (SO<sub>2</sub>), оксидов азота

\* Михаил Аркадьевич Булдаков; Иван Иванович Матросов; Александр Алексеевич Тихомиров (tikhomirov@imces.ru).

**Объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников по основным видам экономической деятельности в 2005 г. [3]**

Вид экономической деятельности	Объемы выбросов, тыс. т	В том числе					Уловлено и обезврежено, %
		СО	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> и ЛОС	твердые вещества	
Обрабатывающие производства	7249,8	2274,2	3030,4	385,9	608,5	821,8	81,4
Добыча полезных ископаемых	6148,1	2963,8	201,7	131,4	2344,9	500,0	37,2
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	3982,6	525,5	1299,9	918,2	27,6	1146,4	85,0
Транспорт (без подвижного состава) и связь	2085,3	368,7	41,5	166,2	1432,0	66,6	9,9
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	134,1	47,7	7,2	10,1	10,2	38,9	21,7
Коммунальные услуги	61,9	12,9	5,2	2,3	30,6	10,0	31,9

(NO<sub>x</sub>), углеводородов (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>), включая летучие органические соединения (ЛОС), и твердых веществ. Более подробный анализ выбросов от предприятий (по видам экономической деятельности), осуществляющих наиболее значительное загрязнение атмосферы, приведен ниже.

#### **Обрабатывающие производства**

Данный вид экономической деятельности объединяет широкий спектр производств, включая металлургическое, химическое, производство нефтепродуктов и др. Эти производства дают самый большой объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, который формируется главным образом за счет выбросов предприятий цветной металлургии (3,2 млн т), черной металлургии (1,6 млн т), производящих нефтепродукты (0,8 млн т) и химического производства (0,4 млн т). Помимо указанных в таблице основных загрязнителей атмосферы предприятия обрабатывающих производств выбрасывают в атмосферу также достаточно большое количество других загрязняющих веществ (~0,13 млн т). Характерные выбросы для различных отраслей промышленности и некоторых производств Российской Федерации приведены в справочниках [4, 5].

#### **Добыча полезных ископаемых**

Эта отрасль экономики объединяет предприятия по добыче топливно-энергетических полезных ископаемых, металлических руд и других полезных ископаемых. В данной группе вне конкуренции предприятия по добыче сырой нефти и нефтяного (попутного) газа, суммарный выброс в атмосферу от которых составляет 4,1 млн т. Среди остальных следует выделить предприятия по добыче металлических руд, выбрасывающих в атмосферу 0,52 млн т вредных веществ, и предприятия по добыче природного газа и газового конденсата, чей вклад в загрязнение атмосферы составляет 0,49 млн т. Источники выбросов на добывающих предприятиях, как правило, неорганизованные, что обуславливает низкий уровень улавливания и обезвреживания вредных веществ.

#### **Производство и распределение электроэнергии, газа и воды**

Из предприятий этого вида экономической деятельности крупнейшими источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются теплоэлектростанции. Кроме основных техногенных газов и сажи ТЭС выбрасывают в атмосферу также около 60 тыс. т других вредных веществ, таких как бенз(а)пирен, тяжелые металлы, альдегиды, хлориды, фториды и радионуклиды. Необходимо отметить, что теплоэлектростанции оснащены наиболее эффективно системами улавливания и обезвреживания загрязняющих веществ.

#### **Транспорт (без подвижного состава) и связь**

Эта отрасль экономики включает предприятия трубопроводного транспорта, транспортного комплекса (ремонтные заводы, доки, станции технического обслуживания и др.) и связи. Основной вклад в объемы выбросов среди предприятий данного вида экономической деятельности вносят предприятия трубопроводного транспорта (~90%). Выбросы трубопроводного транспорта формируются за счет выбросов оксидов углерода и азота от перекачивающих агрегатов и технологических выбросов углеводородов, происходящих в процессе транспортировки.

Помимо рассмотренных выше выбросов в атмосферу от стационарных источников весьма значительный вклад в загрязнение атмосферы вносят и подвижные виды транспорта, в которых с подавляющим преимуществом лидирует автомобильный транспорт (~95% объема вредных выбросов от всех видов подвижного транспорта страны). В частности, суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от автомобильного транспорта в 2005 г. оценены в 15,41 млн т, в том числе СО — 11,66 млн т, NO<sub>x</sub> — 1,86 млн т, C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> — 1,72 млн т, SO<sub>2</sub> — 0,12 млн т и сажи — 0,05 млн т [3]. Приведенные данные показывают, что автомобильный транспорт является основным источником техногенных выбросов СО и NO<sub>x</sub> в атмосферу. Особенно важную роль

играют выбросы автотранспорта в условиях крупных городов, где их вклад в загрязнение атмосферы городов достигает 60–80% [6].

В последнее время большое внимание уделяется также и техногенным выбросам парниковых газов. Традиционно наиболее значительный вклад в выбросы парниковых газов вносит производство электроэнергии. Так, в 2004 г. выбросы парниковых газов при производстве электроэнергии в России составили 1630 млн т (в  $\text{CO}_2$ -эквиваленте). Из остальных видов экономической деятельности следует выделить транспорт (175 млн т), сельское хозяйство (151 млн т), обрабатывающие производства (100 млн т) и коммунальные услуги (65 млн т). При этом доля отдельных парниковых газов в их общем выбросе (в  $\text{CO}_2$ -эквиваленте) составила:  $\text{CO}_2$  – 78,9,  $\text{CH}_4$  – 13,8,  $\text{N}_2\text{O}$  – 5,5, фторсодержащие газы – 1,8% [3].

Таким образом, по своим масштабам основными источниками техногенных выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу являются автомобильный транспорт, предприятия теплоэнергетики, черной и цветной металлургии и нефтехимические производства, которые и формируют главную часть потребностей народного хозяйства в газоанализаторах, необходимых для мониторинга производимых выбросов.

## Современные газоанализаторы для контроля промышленных выбросов

В соответствии со структурой техногенных выбросов в атмосферу парк газоанализаторов представляет собой два класса приборов – малогабаритные и стационарные газоанализаторы [7]. По назначению и своим техническим характеристикам газоанализаторы этих классов сильно различаются между собой.

Малогабаритные газоанализаторы – наиболее широко распространенный тип приборов, которые предназначены для экологического экспресс-анализа выхлопных газов двигателей транспорта и промышленных выбросов предприятий. Для этих газоанализаторов характерны достаточно высокие чувствительность и быстродействие, простота эксплуатации и малые массо-габаритные характеристики. Как правило, в них используются твердотельные сенсоры, которые изменяют свои свойства при адсорбции регистрируемых молекул газа на поверхности чувствительных элементов.

Главное достоинство газоанализаторов этого класса связано с миниатюрностью сенсоров, что позволяет создавать многокомпонентные портативные приборы, с низкими энергопотреблением и материалоемкостью. С другой стороны, широкомасштабное производство таких сенсоров с использованием технологий микроэлектроники обеспечивает невысокую их стоимость.

Основным недостатком таких газоанализаторов является их невысокая селективность, которая приводит к одновременной чувствительности сенсоров

к различным компонентам газовой среды. Устранение такой перекрестной чувствительности сенсоров проводится с помощью абсорбционных фильтров-поглотителей, которые нуждаются в регулярной замене. Кроме газоанализаторов с твердотельными сенсорами применяются также и малогабаритные газоанализаторы, использующие оптические абсорбционные методы газоанализа. Основные разработчики и производители малогабаритных газоанализаторов – фирмы Японии, США и Германии. Ряд малогабаритных газоанализаторов отечественного и зарубежного производства для контроля выбросов транспорта и промышленных предприятий, допущенных к применению в России, приведен в [7].

Стационарные газоанализаторы предназначены для мониторинга объемов и состава промышленных выбросов предприятий электроэнергетики, черной и цветной металлургии, химической и ряда других обрабатывающих производств. Помимо высокой чувствительности, селективности и быстродействия газоанализаторы этого типа обладают длительным временем непрерывной работы в автономном режиме с самодиагностикой и сигнализацией о неисправностях. Современные стационарные газоанализаторы основаны на использовании высокоселективных оптических методов газоанализа, при этом продолжительность непрерывной работы таких газоанализаторов ограничена только сроком службы источников и приемников оптического излучения.

К сожалению, все стационарные газоанализаторы являются однокомпонентными или в лучшем случае двухкомпонентными, поскольку каждый компонент промышленных выбросов может быть измерен только соответствующими оптическими методами газоанализа. В частности, в мировой практике для измерения  $\text{NO}_x$  используются хемилюминесцентный и УФ абсорбционный методы,  $\text{SO}_2$  – флуоресцентный и УФ абсорбционный методы,  $\text{CO}$  – ИК абсорбционный метод,  $\text{C}_n\text{H}_n$  – пламенно-ионизационный и ИК абсорбционный методы газоанализа. В связи с этим мониторинг промышленных выбросов осуществляется газоаналитическими комплексами, состоящими из однокомпонентных и двухкомпонентных газоанализаторов, а состав комплексов формируется в соответствии со структурой выбросов данного производства.

В качестве примера можно привести газоаналитический комплекс GMP 1000M для непрерывного контроля промышленных выбросов фирмы Rosemount Analytical (США) [8]. Стандартный вариант этого комплекса состоит из 7 газоанализаторов серии NGA 2000 Rosemount Analytical, которые измеряют  $\text{O}_2$  (парамагнитный метод),  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  (недисперсионная ИК-фотометрия),  $\text{SO}_2$  (УФ-фотометрия),  $\text{NO}$  (недисперсионная ИК-фотометрия),  $\text{NO}_x$  (хемилюминесцентный метод),  $\text{NH}_3$  (УФ-фотометрия), полное содержание углеводородов (пламенно-ионизационный метод). Мировыми лидерами в разработках и производстве стационарных газоанализаторов являются фирмы США, Германии и Франции. Список стационарных газоанализаторов и газоаналитических комплексов (для контроля выбросов промышленных предприятий), допущен-

ных к применению в России, и их производителей представлен в [7].

В связи с ухудшением состояния окружающей среды в экономически развитых странах наблюдается ужесточение экологического законодательства в сфере контроля за техногенными выбросами в атмосферу. Так, в 2009 г. вводится экологический стандарт Евро-5, регулирующий содержание вредных веществ в выхлопных газах автомобилей. Стандарт будет обязателен для всех новых легковых и грузовых автомобилей, продаваемых в Евросоюзе. Подготавливается единый европейский стандарт по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями теплоэнергетики. По этому стандарту для мощных энергоблоков (более 500 МВт) независимо от вида топлива и конструкции котла концентрация оксидов азота в дымовых газах не должна превышать 200 мг/м<sup>3</sup> [9].

Аналогичные соглашения по промышленным выбросам обсуждаются также для металлургических и нефтехимических производств. Снижение предельно допустимых норм техногенных выбросов в атмосферу, а также неизбежное расширение списка контролируемых компонентов приводят к тому, что уже в ближайшем будущем возникнет потребность в газоанализаторах нового поколения, обладающих улучшенными техническими и метрологическими характеристиками. В этой ситуации представляет интерес рассмотреть наиболее перспективные направления развития малогабаритных и стационарных газоанализаторов.

В области малогабаритных газоанализаторов вне конкуренции останутся газоанализаторы с твердотельными сенсорами. Основное направление развития таких газоанализаторов состоит в создании датчиков повышенной селективности, которая будет достигаться разработкой новых материалов и новых способов получения поверхностных структур датчиков, использованием селективных мембран, новых абсорбционных и каталитических фильтров, а также разработкой специальных алгоритмов обработки сигналов датчиков, позволяющих существенно улучшить их избирательность.

Среди стационарных газоанализаторов в ближайшее время лидирующую роль сохраняют газоанализаторы, базирующиеся на оптических методах газоанализа, хотя по мере решения проблем с долговременной селективностью датчиков следует ожидать и появления стационарных газоанализаторов с твердотельными сенсорами.

Из стационарных оптических газоанализаторов наиболее значительные изменения произойдут с ИК абсорбционными газоанализаторами. Это связано, во-первых, с появлением новых высокочувствительных фотоприемников ИК-диапазона и, во-вторых, с разработкой узкополосных лазерных источников излучения — квантово-каскадных лазеров и лазеров на основе новых высокоэффективных преобразователей частоты [10].

Следует также ожидать появления нового типа стационарных оптических газоанализаторов, основанных на использовании явления спонтанного

комбинационного рассеяния света. Возможности создания стационарных СКР-газоанализаторов и их перспективы рассмотрены ниже.

## Перспективы СКР-газоанализаторов

Комбинационное рассеяние света является одним из наиболее быстро развивающихся направлений молекулярной спектроскопии, которое активно внедряется в самые различные области науки и техники. Газоанализ на основе СКР базируется на способности молекул рассеивать свет с частотами  $\omega_i$  при освещении их монохроматическим излучением с частотой  $\omega_0$ , причем разность частот  $\omega_0 - \omega_i$  строго индивидуальна для каждого сорта рассеивающих молекул. Основным достоинством этого метода газоанализа является возможность одновременного детектирования всех молекулярных компонентов газовой среды с помощью одного источника света (лазера) с фиксированной частотой излучения, при этом сигнал СКР любого компонента строго индивидуален, пропорционален его концентрации, обладает высоким быстродействием и не зависит от состава газовой среды. Благодаря этому метод СКР-спектроскопии особенно перспективен для определения качественного и количественного состава газовых сред сложного молекулярного состава. В частности, газоанализ методом СКР-спектроскопии является единственным оптическим методом диагностики газовых сред, качественный состав которых заранее не известен.

Данный метод газоанализа прошел успешную проверку в лабораторных условиях [11], однако СКР-газоанализаторы, работающие в режиме мониторинга, отечественной и зарубежной промышленностью в настоящее время не выпускаются. В качестве примера диагностики техногенных газов методом СКР-спектроскопии на рис. 1 приведен спектр СКР отходящих газов установок по микродуговому окислению РИТЦ СО РАН, использованный для газоанализа этих технологических выбросов на лабораторном СКР-спектрометре [12].

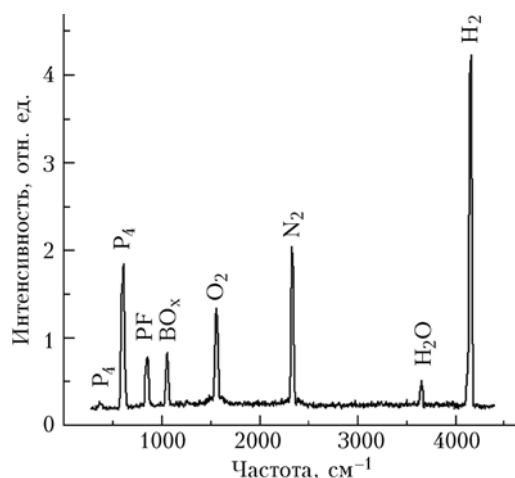


Рис. 1. Спектр СКР отходящих газов установок по микродуговому окислению

Основными препятствиями для создания стационарного СКР-газоанализатора до настоящего времени являлось отсутствие надежных источников и приемников света с необходимыми техническими характеристиками.

В последнее время ситуация коренным образом изменилась. Во-первых, ряд зарубежных и российских фирм начали серийное производство малогабаритных твердотельных лазеров с диодной накачкой, обладающих высокой мощностью излучения и длительным ресурсом работы. Примером такого лазера может служить лазер KLM-532/h фирмы «ФТИ-ОПТРОНИК» (Россия) с мощностью излучения до 5 Вт на  $\lambda = 532$  нм, ресурсом работы более 5 тыс. ч и габаритами 160×60×54 мм [13]. Во-вторых, фирма HAMAMATSU (Япония) разработала и начала серийное производство ПЗС-матриц S10140 для регистрации предельно слабых световых потоков [14]. Матрица обладает низким уровнем темнового тока при высокой квантовой эффективности (более 50%) в спектральном диапазоне 200–1000 нм и широким динамическим диапазоном измеряемых сигналов. Таким образом, появление малогабаритных надежных лазеров и высокочувствительных многоканальных фотоприемников с длительным сроком службы обеспечивает необходимую элементную базу для создания стационарных СКР-газоанализаторов.

В настоящее время в ИМКЭС СО РАН разрабатывается стационарный СКР-газоанализатор пробоотборного типа, структурная схема которого приведена на рис. 2.

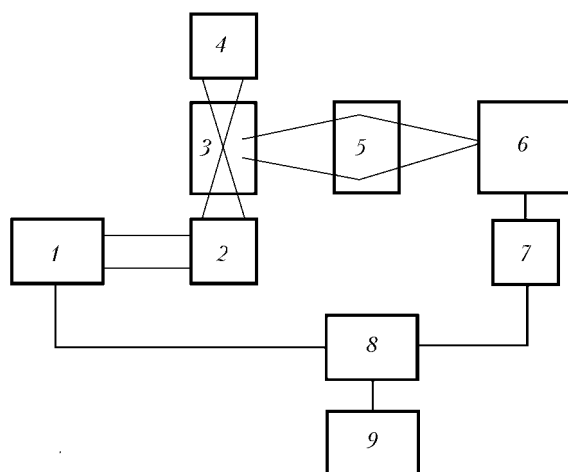


Рис. 2. Структурная схема СКР-газоанализатора: 1 – источник излучения; 2 – фокусирующая оптическая система; 3 – кювета; 4 – отражательное зеркало; 5 – система сбора рассеянного света; 6 – монохроматор; 7 – система регистрации спектра СКР; 8 – блок управления; 9 – компьютер

Источником возбуждающего линейно поляризованного излучения 1 в газоанализаторе служит твердотельный лазер KLM-532/h с мощностью излучения ~1 Вт на длине волны  $\lambda = 532$  нм. С помощью оптической системы 2, состоящей из поворотной призмы и фокусирующей линзы, лазерный луч направляется параллельно входной щели моно-

хроматора и фокусируется в центре кюветы с исследуемым газом. Кювета 3 представляет собой полый металлический цилиндр с окнами для ввода и вывода лазерного луча, а также перпендикулярно расположенным к ним окном для вывода рассеянного света. Кювета снабжена патрубками для ввода и вывода исследуемого газа. Прошедшее кювету лазерное излучение возвращается в кювету сферическим зеркалом 4, служащим для увеличения эффективности его использования. Рассеянный свет собирается и фокусируется светосильным объективом 5 на входную щель монохроматора 6.

Система регистрации спектра СКР 7 состоит из цилиндрической линзы и ПЗС-матрицы S10140 с механизмами их тонкой юстировки. Рабочая поверхность матрицы содержит 2048×506 активных пикселей (чувствительных элементов), имеющих площадь 12×12 мкм. В матрице S10140 предусмотрена возможность суммирования на физическом уровне накопленных пикселями зарядов как по строкам, так и по столбцам матрицы. Блок управления 8 построен на основе микроконтроллера Atmega128 и управляет ПЗС-матрицей и монохроматором, а также обеспечивает связь с внешним компьютером 9. Модуль внешнего ОЗУ позволяет согласовывать скорости потоков данных, с одной стороны, между ПЗС-матрицей и микроконтроллером Atmega128 и, с другой, – между микроконтроллером и компьютером.

Оценка чувствительности разрабатываемого СКР-газоанализатора проведена путем нахождения минимально регистрируемых концентраций молекул газа на лабораторном СКР-спектрометре. В качестве эталонных газов были выбраны азотометановые газовые среды с различным содержанием метана. На лабораторном приборе был надежно (погрешность измерения 10%) зарегистрирован сигнал СКР полносимметричной полосы метана с комбинационной частотой 2917 см<sup>-1</sup>, парциальное давление которого в газовой смеси составило 0,001 торр, что соответствует чувствительности по метану около 1 ppм. Чувствительность СКР-спектрометра к другим газам рассчитывалась посредством сравнения относительных дифференциальных сечений рассеяния этих газов и метана, численные значения которых приведены в [15]. Относительные дифференциальные сечения рассеяния наиболее важных компонентов дымового газа теплоэлектростанций представлены на рис. 3.

Хорошо видно, что чувствительность СКР-спектрометра к компонентам дымовых газов варьируется в диапазоне 1–10 ppм в зависимости от сорта рассеивающих молекул. Приведенные оценки чувствительности показывают, что разрабатываемый СКР-газоанализатор будет способен в непрерывном режиме регистрировать содержание всех подлежащих обязательному экологическому контролю компонентов промышленных выбросов теплоэлектростанций. Без существенных изменений такой газоанализатор может быть также использован для мониторинга промышленных выбросов и других производств.

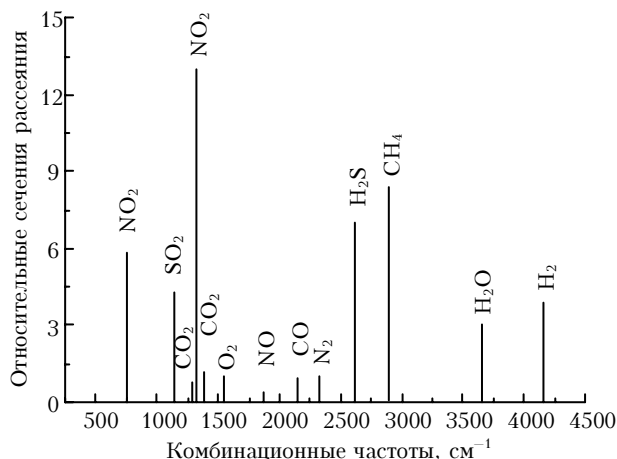


Рис. 3. Относительные дифференциальные сечения рассеяния наиболее важных компонентов дымового газа теплоэлектростанций как функция комбинационных частот  $\omega_0 - \omega_i$  [15]

### Заключение

В условиях нарастающего техногенного загрязнения атмосферы возрастает роль газоаналитических приборов в мониторинге промышленных выбросов предприятий черной и цветной металлургии, электроэнергетики и ряда химических производств, являющихся крупнейшими точечными источниками загрязнения воздуха. Одним из перспективных направлений развития газоаналитического приборостроения является разработка газоанализаторов нового поколения, базирующихся на новых или неиспользуемых ранее методах газоанализа, например методе СКР.

Нет никакого сомнения, что уже в ближайшем будущем стационарные СКР-газоанализаторы могут вполне конкурировать с существующими газоаналитическими комплексами, состоящими из набора отдельных газоанализаторов, в части контроля за основными загрязнителями атмосферы в промышленных выбросах. При этом СКР-газоанализаторы имеют несомненные преимущества по сравнению с газоаналитическими комплексами, поскольку позволяют сразу обнаружить появление новых неожиданных компонентов в промышленных выбросах. В принципе, дальнейшее развитие элементной базы оптоэлектроники может привести и к созда-

нию передвижных СКР-газоанализаторов, которые могут быть использованы службами экологического контроля и МЧС для контроля природных и техногенных газовых сред неизвестного состава.

Работа выполнялась в рамках базового проекта СО РАН № 7.13.1.2.

1. Галай Е.И. Использование природных ресурсов и охрана природы. Минск: Амалфея, 2007. 252 с.
2. Экология, охрана природы, экологическая безопасность / Под ред. А.Т. Никитина, С.А. Степанова. М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. 648 с.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году. М.: Министерство природных ресурсов Российской Федерации, 2006.
4. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 917 с.
5. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 2000. 672 с.
6. Систер В.Г., Мирный А.Н., Гюнтер Л.И. Экологические проблемы мегаполисов. М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, 2004. 432 с.
7. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Л.К. Исаева. СПб.: Изд-во «Крисмас+», 1998. 896 с.
8. [http://www.emersonprocess.com/railhome/Gas/products/model\\_GMP1000M.asp](http://www.emersonprocess.com/railhome/Gas/products/model_GMP1000M.asp).
9. Котлер В.Р. Решение проблемы выбросов оксидов азота на тепловых электростанциях Италии // Теплоэнергетика. 2000. № 8. С. 70–74.
10. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Гейко П.П., Горобец В.А., Ланская О.Г., Петухов В.О., Солдаткин Н.П., Тихомиров А.А. Лидарные системы и их оптико-электронные элементы / Под общей ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2004. 526 с.
11. Немец В.М., Петров А.А., Соловьев А.А. Спектральный анализ неорганических газов. Л.: Химия, 1988. 240 с.
12. Buldakov M.A., Ippolitov I.I., Korolev B.V., Matrosov I.I., Cheglov A.E., Cherepanov V.N., Makushkin Yu.S., Ulenikov O.N. Vibration rotation Raman spectroscopy of gas media // Spectrochim. Acta. Part A. 1996. V. 52. N 8. P. 995–1007.
13. <http://www.fti-optronic.com/dpss-blue.htm>.
14. CCD area image sensor S10140/S10141 series // Opto-semiconductors News. 2006. P. 1–2.
15. Шрёттер Х., Клёкнер Х. Сечения комбинационного рассеяния света в газах и жидкостях // Спектроскопия комбинационного рассеяния света в газах и жидкостях. М.: Мир, 1982. С. 154–202.

*M.A. Buldakov, I.I. Matrosov, A.A. Tikhomirov. State-of-the-art and tendencies in gas-analytical instrument-making intended for monitoring of industrial emissions into the atmosphere.*

Analysis of amounts and composition of industrial emissions and city transport exhausts revealed sectors of the Russian national economy needing gas analyzers. The state-of-the-art has been studied in gas analytical instrument-making concerning development and production of both portable and stationary gas analyzers. The main directions in development of portable and stationary gas analyzers intended for monitoring of technogenic emissions into the atmosphere have been considered. It was shown that for stationary gas analyzers one of the promising directions is designing new gas analyzers based on Raman scattering.