НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГЕ СЛЕДОВЫХ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ В ВОЗДУХЕ

УДК: 502.3; 54.07
ВАК: 02.00.02

Талисманова М.О., к.х.н., базовая кафедра оптических систем и технологий при ОАО "ЛЗОС" Института перспективных технологий и индустриального программирования РТУ МИРЭА, ООО "МС-АНАЛИТИКА-сервис", marina.talismanova@analytica.ms

Проблемы и тенденции изменения качества атмосферного воздуха в последние годы все чаще выходят на передний план. Одно из бурно развивающихся направлений – это мониторинг следовых токсичных газов, таких как формальдегид, который является фактором риска для здоровья человека и угрозой экологической безопасности. В данной статье представлена общая информация по формальдегиду, рассмотрены источники его эмиссии в воздух замкнутых помещений и в окружающую среду с учетом первичных и вторичных путей формирования как природного, так и техногенного характера. Описана новая технология, основанная на спектроскопии по затуханию света, на базе которой создан онлайн-газоанализатор концентрации формальдегида – Picarro G2307. Показаны преимущества его использования на автоматических стационарных станциях контроля загрязнения атмосферного воздуха и в передвижных мобильных лабораториях Единой системы государственного экологического мониторинга.

Забота о здоровье нации, создание благоприятных условий ее развития является важной задачей современной России. Одним из главных факторов, влияющих на среду обитания человека и обеспечивающих экологическую безопасность, является качество атмосферного воздуха. Темпы развития городов и увеличение количества автомобильного и воздушного транспорта, рост числа промышленных объектов способствуют постоянной эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу, несмотря на ряд природоохранных мероприятий, таких как перевод на газообразное топливо предприятий энергетического комплекса и части автотранспортного парка, оборудование новейшими газоочистными установками основных источников выбросов, проведение модернизации производства.

Оценка уровня загрязнения атмосферы городских населенных пунктов осуществляется путем сравнения значений концентрации загрязняющих веществ с ПДК (предельно допустимой концентрацией загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений, устанавливаемой Главным санитарным врачом Российской Федерации) и является главной задачей экологического мониторинга. Для этих целей создана, функционирует и постоянно развивается Единая система государственного экологического мониторинга (ЕСГЭМ) [1, 2], в которой государственный мониторинг атмосферного воздуха представлен Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Согласно Государственному докладу Минприроды России [3] с 2010 года наблюдаются положительные тенденции изменения качества городского атмосферного воздуха. Количество городов, в которых уровень загрязнения атмосферы оценивался по комплексному показателю ИЗА (индекс загрязнения атмосферы) как высокий и очень высокий, в 2020 году снизилось на 6 по сравнению с предыдущим годом. Однако в целом экологическая обстановка продолжает оставаться напряженной. Так, в 2020 году в 34 городах Российской Федерации, что составляет 15% городов страны, где проживает 9,6 млн человек, уровень загрязнения воздуха оставался высоким и очень высоким. В 134 городах общей численностью населения 52,6 млн человек (53% городов из числа наблюдаемых Росгидрометом) средние за год концентрации какого-либо вещества превышали 1 ПДК [4]. При этом основными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферный воздух вместе с выбросами предприятий различных отраслей промышленности и транспорта, являются пыль, диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, а также бенз(а)пирен, формальдегид и другие летучие органические соединения (ЛОС), в том числе углеводороды. Перечень наиболее распространенных загрязнителей включает не менее 13 веществ, а в случае городов с высоким загрязнением (рис.1) – до 34.

DOI: 10.32757/2619-0923.2021.1-2.20.46.52

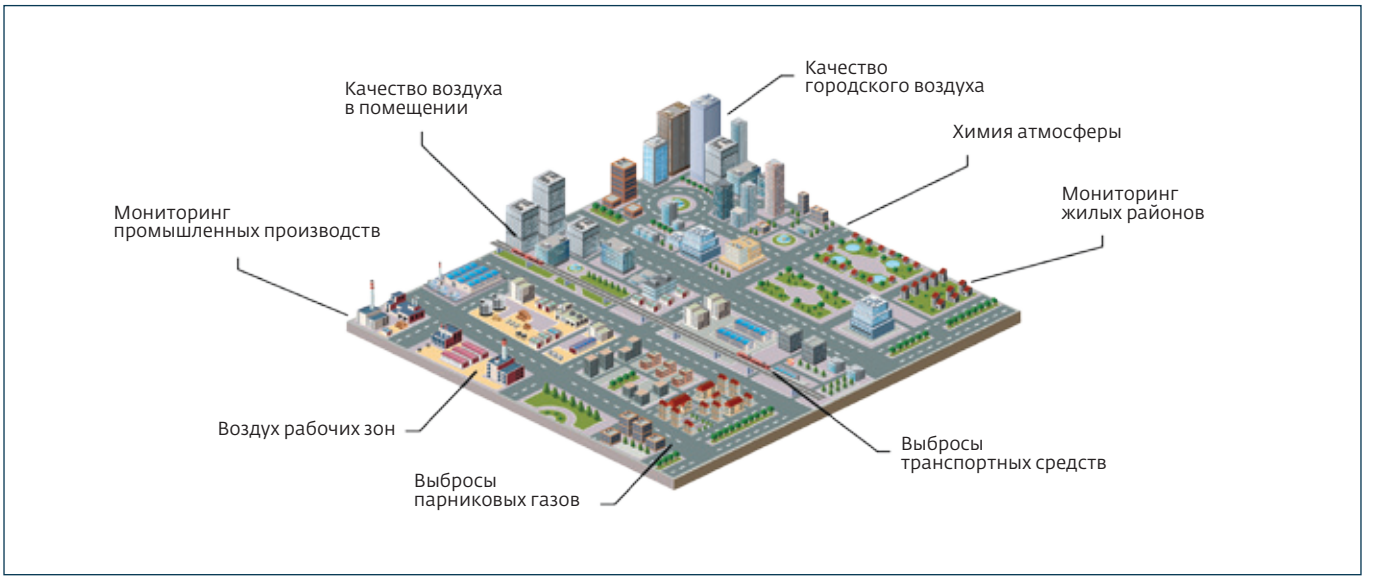


Рис.1. *Объекты мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в городах*

Анализ данных Росгидромета показывает, что с 2010 года объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и автотранспорта снижался по всем основным компонентам, при этом на период с 2019 по 2020 год он остался практически неизменным. Что касается непосредственно ЛОС, в 2020 году их доля в общем объеме выбросов в среднем по стране составила: по стационарным источникам – 7,4%; по автотранспорту – 8,1%, в целом же объем выделяемых ЛОС в 2020 году остался на той же отметке, что и в 2019-м, т.е. тенденции к улучшению экологической ситуации притормозились.

В крупных городах с численностью населения более миллиона человек ситуация меняется качест-венно. Доля ЛОС, приходящаяся на автотранспорт, не считая авиа- и судоходный, многократно возрастает, и это требует дифференцированного подхода к задаче мониторинга атмосферного воздуха. С целью уменьшения факторов риска для общественного здоровья, снижения выбросов загрязняющих веществ и сокращения количества городов с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха разработан федеральный проект "Чистый воздух" в рамках национального проекта "Экология". В настоящее время количество городов – участников этого проекта постоянно растет. Вместе с ним развивается и ЕСГЭМ, обеспечивающая оценку достижения целей проекта "Чистый воздух": переоборудуются действующие автоматические стационарные станции контроля загрязнения атмосферного воздуха (АСКЗА), приобретаются новые стационарные станции и передвижные мобильные лаборатории.

В области оценки качества воздуха и определения концентрации загрязняющих веществ (ЗВ), таких как следовые токсичные газы, в частности формальдегид, на первый план выходят требования, предъявляемые к газоаналитическому оборудованию, используемому ЕСГЭМ для непрерывного мониторинга: высокая чувствительность и точность наряду с надежностью, стабильностью и простотой использования.

ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ О ФОРМАЛЬДЕГИДЕ?

Формальдегид CH_2O, первый член гомологического ряда альдегидов – летучее органическое вещество, бесцветный газ с резким удушливым запахом, при –19,2 °С конденсирующийся в жидкость плотностью 0,8153 г/см³. Порог восприятия запаха очень низок и составляет 0,83 промилле. Формальдегид высоко реакционноспособен, его трудно перевозить и хранить как в жидком, так и в газообразном состоянии [5]. Он входит в перечень приоритетных ЗВ, поскольку по своему воздействию на организм человека обладает канцерогенным (1-я группа) и мутагенным свойствами [6]. При длительном воздействии формальдегид также вызывает развитие тяжелых хронических заболеваний дыхательных путей (бронхиты, астма), а при кратковременном – раздражение слизистых оболочек и кожи, головную боль и тошноту. Опасно и непрямое воздействие CH_2O, поскольку, вступая в реакцию с другими активными химическими веществами атмосферы (NO_x и ЛОС), он стимулирует образование в приземных слоях озона (O_3), вызывающего генерализованное нарушение дыхательной системы.

Согласно Гигиеническим нормативам, которые регламентируют содержание ЗВ в воздухе [6], максимальная разовая предельно допустимая концентрация формальдегида (ПДК м.р.) составляет 0,05 мг/м^3, среднесуточная ПДК (ПДК с.с.) – 0,01 мг/м^3, среднегодовая ПДК (ПДК с.г.) – 0,003 мг/м^3, и такие низкие установленные пороги вредного воздействия являются причиной отнесения этого вещества ко 2-му классу токсичности. Следует отметить, что, согласно данным Росгидромета, уровень формальдегида выше 1 ПДК сохраняется в большом количестве городов.

История получения формальдегида восходит ко второй половине XIX века. Впервые он был получен А.М.Бутлеровым в 1859 году. Способ получения формальдегида, который впоследствии был положен в основу современных методов производства, разработан А.Гофманом (August Wilhelm von Hofmann) в 1868 году [7]. И уже в начале XX века формальдегид нашел широкое применение в качестве бальзамирующего средства, медицинского и пищевого консерванта (добавка Е240), в изготовлении дезинфицирующих средств. Открытие в 1907 году американским химиком бельгийского происхождения Лео Бакеландом (Leo Hendrik Baekeland) первого синтетического полимера на основе фенолформальдегидной смолы – бакелита и основание им промышленного производства в 1910 году кардинально изменило многие отрасли промышленности [8]. Спустя столетие формальдегид уже можно было найти практически во всех предметах домашнего обихода: от мебельных столешниц до лака для ногтей и кондиционера для белья. Он используется в производстве отделочных (ламинат, линолеум, ковролин) и строительных материалов, корпусной мебели, изготавливающейся из фанеры и ДСП, в производстве таких бытовых продуктов, как клей, краски, герметики, пестициды, косметика и моющие средства [9]. Эти источники формальдегида относятся к первичным источникам техногенного характера, поскольку воздействие на человека происходит напрямую при вдыхании воздуха замкнутых помещений, загрязненного парами от перечисленных источников. Мебель и прочие бытовые предметы должны соответствовать требованиям СанПиН 1.2.3685-21 к обеспечению безопасности и/или безвредности для человека факторов среды обитания [6]

ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

В атмосферном воздухе механизм формирования CH_2O является сложным и многофакторным. Наблюдаемая концентрация формальдегида в каждый момент времени является балансом между его прямой эмиссией (от первичных источников) и фотохимическим образованием (от вторичных источников), с одной стороны, и скоростью его разложения и осаждения, с другой стороны. Часто незначительные выбросы формальдегида, обусловленные первичными техногенными источниками, не могут объяснить его высокую концентрацию в воздухе многих городов. Именно оценка вклада первичных и вторичных источников формальдегида имеет решающее значение для выбора эффективной стратегии его мониторинга.

Что касается загрязнения атмосферного воздуха, многочисленные источники выбросов формальдегида можно разделить на природные, обусловленные совокупной деятельностью всех биосистем нашей планеты, и техногенные, являющиеся результатом деятельности человека. По механизму образования CH_2O как природные, так и техногенные источники можно отнести к двум группам: первичные и вторичные. Первичные источники производят выбросы непосредственно формальдегида в атмосферу, в то время как вторичные являются источниками многочисленных ЛОС, прекурсоров (предшественников) CH_2O, которые при определенных условиях в результате фотохимических свободно-радикальных реакций превращаются в формальдегид. Таким образом, фоновые концентрации CH_2O в атмосферном воздухе определяются суммарной эмиссией от первичных и вторичных источников как природного, так и техногенного характера.

Самые высокие концентрации формальдегида наблюдаются вблизи техногенных источников, таких как крупные промышленные объекты и автотранспорт. В летний период из-за повышения температуры и увеличения солнечной активности возрастает вклад вторичных источников формальдегида в загрязнение атмосферного воздуха. Более того, помимо сезонных наблюдаются и суточные колебания концентрации формальдегида. Атмосферные осадки также являются фактором воздействия на содержание CH_2O в воздухе.

Список техногенных первичных источников невероятно широк. Среди самых крупных – тепловые электростанции, металлургические и химические заводы, нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия, угольная промышленность, добыча и переработка газа и конденсата, производство пластмасс, резины, смол, строительных материалов, мебельные фабрики и мусоросжигающие заводы. К средним и малым источникам техногенного характера относятся котельные, транспорт, предприятия легкой и пищевой промышленности, выбросы при сжигании твердого топлива в печах [9]. Отметим еще раз, что в городской среде, особенно в крупных городах, где доля ЛОС в выбросах ЗВ многократно увеличивается, основные техногенные выбросы

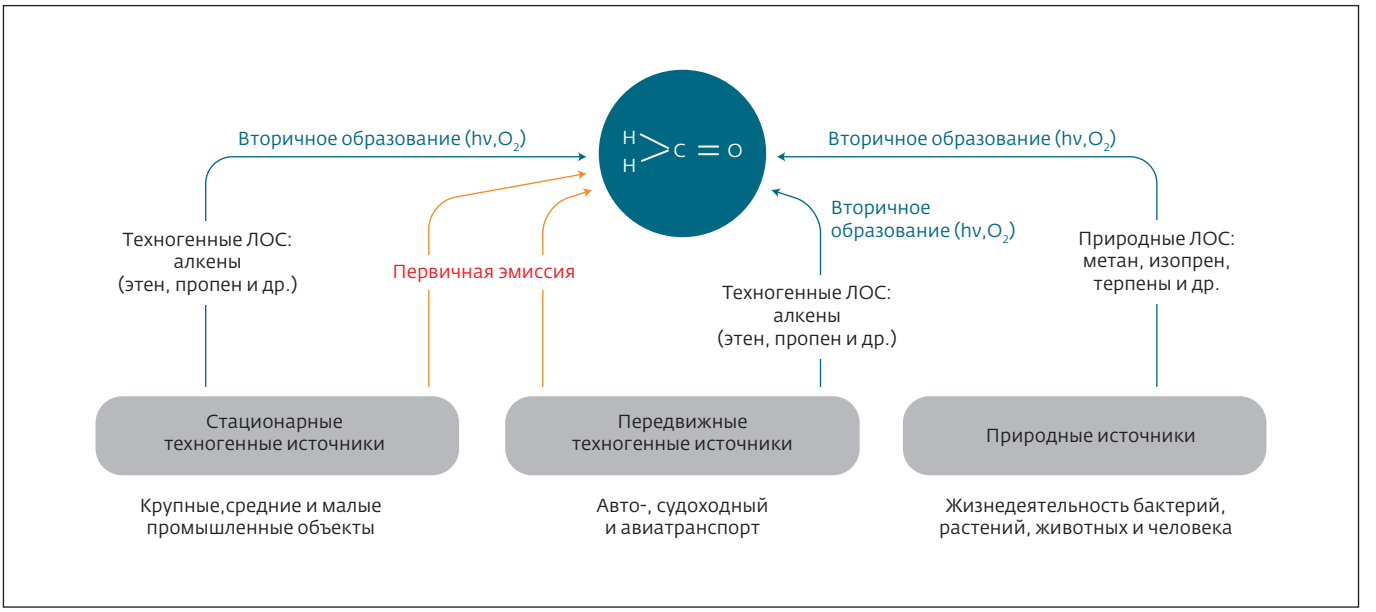


Рис.2. *Источники эмиссии формальдегида в окружающую среду*

формальдегида в атмосферу обусловлены автомобильным транспортом [4, 10]. На улицах с интенсивным движением автотранспорта можно обнаружить формальдегид с концентрацией до нескольких мг/м^3. Выхлопные газы дизельных двигателей содержат более высокие уровни формальдегида по сравнению с бензиновыми, однако в целом доля ЛОС определяется рядом факторов, зависящих не только от используемого топлива, но и от состояния двигателя [11]. Новые виды топлива, основанные на кислородсодержащих добавках, – спирты, эфиры, а также использование сжиженного природного газа и метана привели к уменьшению выбросов ароматических соединений и некоторых других ЛОС, но существенно увеличили концентрацию формальдегида в окружающей среде [11].

Выбросы формальдегида в окружающую атмосферу по вторичным путям происходят при неполном фотохимическом окислении нескольких классов ЛОС – алканов, алкенов, спиртов, альдегидов и ароматических соединений, поэтому эмиссия CH_2O в воздух зависит от концентрации его прекурсоров и ряда физико-химических факторов, влияющих на протекание свободно-радикальных реакций окисления ЛОС. Более того, в ночные часы формальдегид, наряду с другими альдегидами, образуется вследствие альтернативных реакций [12]. Как и в случае первичных источников, вторичные также могут быть разделены на техногенные и природные. В связи с большим разнообразием летучих прекурсоров формальдегида в городском воздухе доля его эмиссии, обусловленная техногенными ЛОС по вторичным реакциям, возрастает до 70–90% общей суммы выбросов атмосферного формальдегида [13]. Вследствие этого его часто используют в качестве маркера общего загрязнения атмосферы; причем некоторые первичные загрязнители, такие как CO или NO_x, и вторичные, как O_3, могут рассматриваться в качестве индикаторов путей поступления формальдегида.

К основным прекурсорам формальдегида можно отнести метан, изопрен и терпены [12]. Биогенный метан является результатом жизнедеятельности особых анаэробных бактерий, выделяется в местах добычи и разведки горючих ископаемых, в районах вулканической активности и во время лесных пожаров, в то время как техногенными его источниками являются свалки и сточные воды, места утечки природного газа. Изопрен – один из важнейших прекурсоров формальдегида – имеет исключительно природное происхождение и производится животными и растениями в ответ на абиотический стресс, входя в состав клеточных мембран и уменьшая тепловые воздействия на организм [14]. Образование формальдегида из метана и изопрена существенно возрастает в летние месяцы, особенно в сельской местности, где доля формальдегида, обусловленного изопреном, доходит до 50% общих выбросов. Основные вторичные источники поступления CH_2O в городской атмосферный воздух в зимний период связаны с эмиссией таких алкенов, как этен, пропен и др., производимых автомобильными двигателями и промышленными объектами. В целом поступление формальдегида в атмосферный воздух с учетом характера

Рис.3. *Внешний вид Picarro G2307*

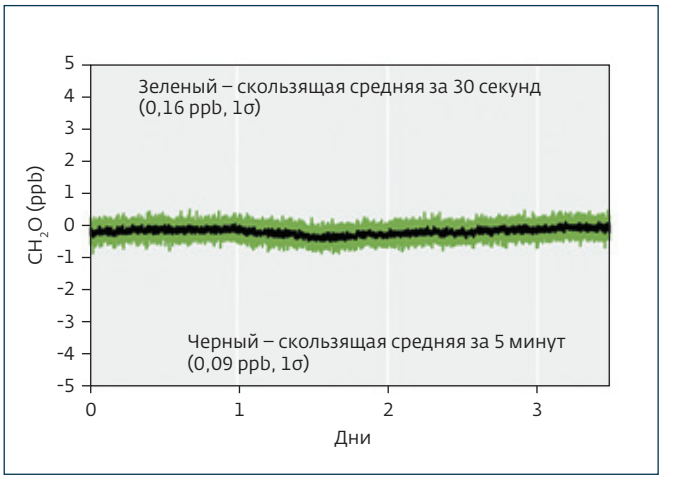


Рис.4. *Стабильность и точность по CH_2O*

источников и путей его образования можно представить следующей схемой (рис.2).

В итоге содержание формальдегида в воздухе зависит от следующих факторов: сезонных и суточных изменений, метеорологических условий, наличия многообразия соединений, являющихся предшественниками его образования (от ЛОС до малых газовых примесей) наряду с прямыми техногенными и природными выбросами и др.

Вышеперечисленные факторы делают очевидным выбор специалистов всего мира в пользу инструментального анализа формальдегида в воздухе, в то время как периодический отбор проб воздуха с последующим исследованием их в лабораторных условиях методами "мокрой" химии становится менее актуальным. В сложившихся условиях важен постоянный высокоточный мониторинг концентраций CH_2O в режиме реального времени.

Молекула формальдегида, содержащая два атома водорода, атом углерода и связанный с ним двойной связью атом кислорода, является прекрасным аналитом для целого ряда спектрометрических методов, хотя "мокрая" химия также применяется для создания анализаторов формальдегида [15]. Среди газоанализаторов, созданных для определения концентрации формальдегида на основе его сильного поглощения в УФ-области, существуют приборы с использованием дифференциального поглощения (с высоким и низким спектральным разрешением) и внутрирезонаторной абсорбционной спектроскопии. Детектирование по поглощению в ИК-диапазоне возможно с помощью ИК Фурье-спектроскопии, диодно-лазерной абсорбционной спектроскопии (TDLS), квантово-каскадной лазерной спектроскопии (QCLS), фотоакустической спектроскопии, а также спектроскопии по затуханию света (CRDS).

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ФОРМАЛЬДЕГИДА PICARRO G2307

Газоанализатор Picarro G2307 (рис.3) основан на уникальной технологии CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy – спектроскопии по затуханию света), запатентованной компанией Picarro Inc. Данная технология обеспечивает сверхточные, стабильные и высокочувствительные измерения газообразного формальдегида и делает Picarro G2307 идеальным решением для атмосферных исследований и мониторинга. Эта система обладает лучшей в своем классе точностью измерения концентрации CH_2O (100 ppt) в режиме реального времени и прекрасной чувствительностью на уровне миллиардных долей. Особенностью данного газоанализатора является низкий нижний предел обнаружения по CH_2O (0,3 ppb) и впечатляющая стабильность шкалы, дрейф которой составляет менее 1,5 ppb (<0,002 мг/м^3) за более чем 72 часа непрерывной работы. На рис.4 изображены результаты непрерывных измерений эталонного источника с нулевым содержанием формальдегида. Дрейф от пика к пику среднего за 5 мин значения за 72 часа эксперимента составляет всего 0,56 частей на миллиард. И это в отсутствие коррекции нуля шкалы или набора данных газоанализатора.

Принцип работы Picarro G2307 основан на технологии CRDS – спектроскопии по затуханию света, или, точнее, спектроскопии поглощения света в многопоточных неаксиальных кюветах при сканировании на резонансных длинах волн в ИК-области спектра (рис.5). Для проведения измерений используется

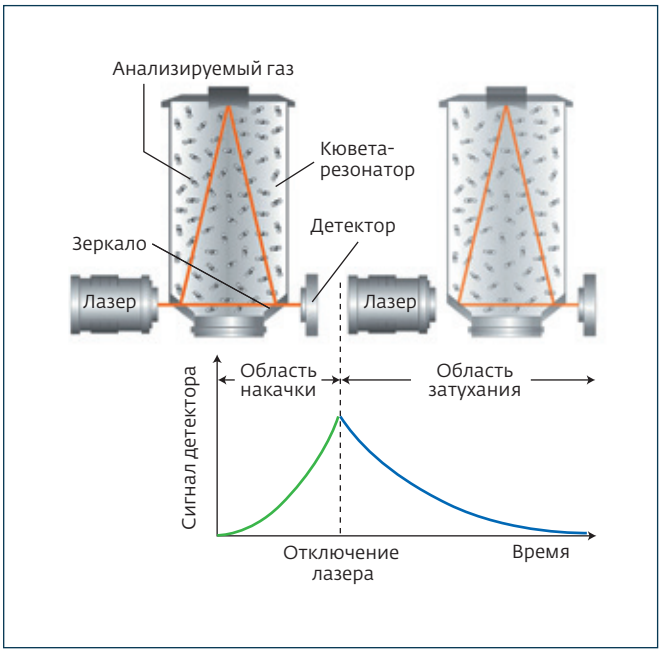


Рис.5. *Принцип действия Picarro G2307 [16]*

Рис.6. *Непрерывное измерение концентрации CH_2O внутри помещения на Picarro G2307*

узкополосный высокочастотный БИК-ИК лазер (ближнего инфракрасного и инфракрасного диапазонов) с точно контролируемой длиной волны. Длина волны доступных лазерных диодов ближнего ИК-диапазона настраивается напрямую путем изменения тока возбуждения и температуры, однако точное соотношение между током и длиной волны зависит от множества факторов, которые существенно влияют на точность измерений. Для решения этой проблемы в приборах Picarro реализован тандем лазера с высокоточным контроллером длины волны (волнометром), разработанным и запатентованным компанией Picarro, благодаря чему возможна активная и точная настройка на определенные длины волн с точностью, более чем в 1000 раз превосходящей ширину спектральной линии, обусловленной доплеровским уширением для малых молекул газовой фазы. Для одновременного измерения концентрации CH_2O, CH_4 и H_2O длина волны лазера настраивается в диапазоне волновых чисел от 5625,5 до 5626,5 см$^{-1}$. Измеряется время затухания излучения в небольшой неаксиальной кювете объемом около 35 см^3, где луч лазера проходит через исследуемый газ по эффективному оптическому пути длиной 20 км благодаря трем зеркалам с высокой отражательной способностью, что и обусловливает высокую чувствительность метода. После выключения лазера сигнал, получаемый фотодетектором на частоте индивидуальной колебательно-вращательной линии поглощения исследуемого газа, экспоненциально затухает (см. рис.5), и время его затухания зависит от степени поглощения исследуемого газа, т.е. от его концентрации. Встроенные системы пассивной и активной стабилизации температуры и давления газа в полости кюветы обеспечивают стабильность измерения концентрации CH_2O, CH_4 и H_2O и сводят к минимуму дрейф показаний прибора.

Внутреннее покрытие газового тракта Picarro G2307, выполненное из Silconet и Teflon, позволяет уменьшить адсорбцию молекул формальдегида внутри прибора, снижая тем самым время отклика (<5 с) и устраняя необъективность результатов измерения. Дополнительное высокоточное измерение концентраций метана (CH_4), используемого в каче-

Рис.7. *Оснащение постоянных постов наблюдений за загрязнением окружающего воздуха*

стве суррогатного газа для калибровки и поверки, исключает необходимость сложного калибровочного процесса с использованием стандартов. В этом состоит значительное преимущество модели Picarro G2307 перед многими другими анализаторами формальдегида.

Picarro G2307 очень прост и дешев в эксплуатации и не требует расходных материалов. Благодаря высокой вибро- и ударопрочности он может быть использован как в лабораторных (рис.6), так и в полевых условиях, на станциях АСКЗА (рис.7) и в передвижных мобильных лабораториях, легко транспортируется любым способом в любую локацию и становится полностью работоспособным в течение минут после включения. Также нет необходимости в пробоподготовке и осушении образцов воздуха перед подачей в анализатор. Концентрация CH_2O выдается в режиме реального времени и не требует последующей обработки данных. Кроме того, в приборе имеются встроенные функции удаленного контроля и диагностики. Анализатор автоматически контролирует точное время, связываясь с сервисом атомных часов.

* * * *

В заключение отметим, что газоанализатор Picarro G2307 способен определять даже незначительные превышения ПДК формальдегида, что позволяет оперативно выявлять источники загрязнения и принимать меры по уменьшению выбросов, а также снижать токсическое воздействие его паров на окружающую среду и здоровье человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 09.08.2013 № 681 "О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)". URL: https://docs.cntd.ru/document/499038246
2. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" URL: https://base.garant.ru/12115550/
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2021. 864 с.
4. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 г. М.: Росгидромет, 2021. 204 с. URL: http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2020.pdf
5. **Огородников С.К.** Формальдегид. Л.: Химия, 1984. 280 с.
6. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". URL: https://base.garant.ru/400274954/
7. **Уокер Дж.Ф.** Формальдегид. М.: Госхимиздат, 1957. 608 с.
8. **Baekeland L.H.** Bakelite, a condensation product of phenols and aldehydes, and its uses // Chemistry. Journal of the Franklin Institute. 1910. Vol. 169, No. 1. P. 55–60.
9. **Скубневская Г.И.**, **Дульцева Г.Г.** Загрязнение атмосферы формальдегидом: Аналит. Обзор (Сер. Экология. Вып. 31). Новосибирск: РАН. Сиб. отд-ние. ГПНТБ, ИХКиГ., 1994. 70 с.
10. **Possanzini M.**, **Di Palo V.**, **Cecinato A.** Sources and photodecomposition of formaldehyde and acetaldehyde in Rome ambient air // Atmos. Envir. 2002. Vol. 36, No. 19. P. 3195–3201. DOI: 10.1016/S1352-2310(02)00192-9
11. **Zheng J.**, **Zhang R.**, **Garzón J.P.**, **Huertas M.E.**, **Levy M.**, **Ma Y.**, **Torres-Jardón R.**, **Ruiz-Suárez L.G.**, **Russell L.**, **Takahama S.**, **Tan H.** Measurments of formaldehyde at the U.S.-Mexico boarder during the Cal-Mex 2010 air quality study // Atmos. Envir. 2013. Vol. 70. P. 513–520. DOI: 10.1016/j.atmosen.v.2012.09.041
12. **Altshuller A.P.** Production of aldehydes as primary emissions and from secondary atmospheric reactions of alkenes and alkenes during the night and early morning hours // Atmos. Envir. Part A. General Topics. 1993. Vol. 27, No. 1. P. 21–32. DOI: 10.1016/0960-1686(93)90067-9
13. **Atkinson R.** Gas-phase tropospheric chemistry of organic compounds: a review hours // Atmos. Envir. Part A. General Topics. 1990. Vol. 24, No. 1. P. 1–41. DOI: 10.1016/0960-1686(90)90438-S
14. **Guenther A.**, **Karl T.**, **Harley P.**, **Wiedinmyer C.**, **Palmer P.I.**, **Geron C.** Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) // Atmos. Chem. Phys. 2006. Vol. 6, No. 11. P. 3181–3210. DOI: 10.5194/acp-6-3181-2006
15. **Glowania M.**, **Rohrer F.**, **Dorn H.P.**, **Hofzumahaus A.**, **Holland F.**, **Kiendler-Scharr A.**, **Wahner A.**, **Fuchs H.** Comparison of formaldehyde measurements by Hantzsch, CRDS and DOAS in the SAPHIR chamber // Atmos. Meas. Tech. 2021. Vol. 14, No. 6. P. 4239–4253. DOI: 10.5194/amt-14-4239-2021
16. Принцип действия анализаторов Picarro. Официальный партнер Picarro ООО "МС-АНАЛИТИКА-сервис". 2022. URL: https://isotope-expert.ru/produkciya/princzip-dejstviya.html

PICARRO

ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ И ИЗОТОПНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ

Компания Picarro - мировой лидер в области решений для измерения концентраций парниковых газов, следовых газов и стабильных изотопов как для научных приложений, так и для целого ряда промышленных отраслей. Продукцию Picarro широко используют национальные и международные исследовательские и контролирующие организации: МАГАТЭ, NEON, ICOS, а также лидеры мировых индустрий: Roche, Bayer, Bosch, Biogen и др.

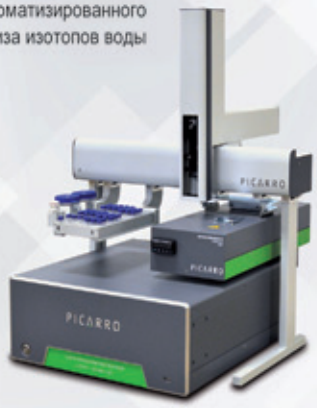
Работа анализаторов Picarro основана на методе WS-CRDS (Wavelength Scanned Ring Down Spectroscopy), который предопределяет легкость калибровки, надежность эксплуатации и высочайшую чувствительность измерений на уровне ppb при минимальном времени анализа.

G4301 CO_2, CH_4, H_2O
исследовательский и референсный анализатор парниковых газов

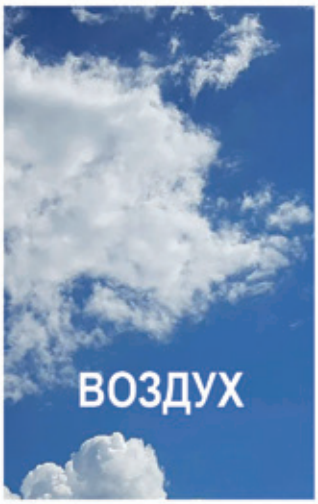
G4302 CH_4, C_2H_6, H_2O
надежный поиск утечек природного газа

G2201-i CO_2 и CH_4
объединяет возможности двух анализаторов изотопов углерода δ13C. Максимально эффективен в полевых условиях.

L2130-i H_2O
полностью интегрированное решение для автоматизированного анализа изотопов воды



PI2114 H_2O_2
лучшее решение для фармацевтики и биофармацевтики. Соответствует всем требованиям GMP



Научные исследования
Экология
Качество воздуха
Количественная оценка выбросов

Сельское хозяйство
Почвоведение
Экологический контроль

Гидрология
Океанология
Палеоклиматология

Продукты и напитки
Медицина и фармацевтика
Нефтехимия
Металлургия
Полупроводники
Атомная энергетика

мс-аналитика
ХРОМАТОГРАФИЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ
+7 495 995 8890, moscow@analytica.ms
www.analytica.ms