

Исследование широкого класса органических соединений методом хромато-масс-спектрометрии

А. В. Астахов¹

УДК 543.51+543.544

Хромато-масс-спектрометрия – аналитический метод, основанный на сочетании возможностей хроматографии по разделению веществ и масс-спектрометрии, использующей для качественного и количественного определения отдельных компонентов в сложных смесях их спектральные характеристики. Приведены краткая историческая справка развития масс-спектрометрии, типы основных узлов масс-спектрометра и описание работы хромато-масс-спектрометра на примере прибора «Кристаллюкс-4000М» – «Маэстро-дМС», а также его технические характеристики. Перечислены области применения хромато-масс-спектрометра и некоторые конкретные методики измерения.

Ключевые слова: хроматография, масс-спектрометрия, идентификация компонентов смесей, капиллярная колонка

Введение

Повышение эффективности газохроматографического разделения с помощью капиллярных колонок (с числом теоретических тарелок в несколько тысяч на метр) приводит к значительному увеличению числа компонентов, регистрируемых на хроматограмме. Это можно наблюдать при анализе таких сложных смесей, как продукты нефтехимии, например бензин, загрязняющие вещества в окружающем воздухе, при медико-биологических исследованиях. В этих случаях число разделенных компонентов, зарегистрированных на хроматограмме, может достигать нескольких сотен. При таком количестве компонентов остро встает проблема их идентификации.

Если анализируемые компоненты имеют значительные различия в составе и строении, их можно идентифицировать с помощью селективных детекторов. Однако они оказываются неэффективными при идентификации близких по строению компонентов смесей, например нефтепродуктов. Также малоприменимы методы реакционной хроматографии, так как любые реакторы, подключенные

до капиллярной колонки или после нее, снижают эффективность разделения. Поэтому метод масс-спектрометрии органических соединений в качестве средства идентификации компонентов смесей, разделяемых с помощью капиллярной хроматографии, находит широкое применение.

Краткая историческая справка

Объединение капиллярной хроматографии и масс-спектрометрии первоначально было предпринято с целью увеличения чувствительности детектирования. Однако в дальнейшем возможности масс-спектрометрии были направлены на изучение структуры соединений, разделенных с помощью капиллярной газовой хроматографии. Таким образом, метод хромато-масс-спектрометрии – наиболее совершенный для изучения состава сложных веществ, сочетающий высокую способность разделения капиллярной хроматографии с присущей масс-спектрометрии высокой чувствительностью и широкими возможностями получения информации о составе и строении анализируемых соединений.

В масс-спектрометре процессы протекают в высоком вакууме, остаточное давление составляет 10^{-7} – 10^{-5} мм рт. ст. [1]. Для создания такого вакуума

¹ ООО «Научно-производственная фирма «Мета-хром».

в современных масс-спектрометрах применяются два насоса: форвакуумный (например, пластинчатороторный) и высоковакуумный (например, диффузионный или турбомолекулярный). Высокий вакуум необходим для создания пространства без молекул газа-носителя, с которыми могут сталкиваться анализируемые ионы, что приведет к их нейтрализации. Во всех масс-спектрометрах вакуумируется не только масс-анализатор, но и система детектирования, а для газовой хроматографии – еще и система ионизации.

История масс-спектрометрии по данным «Википедии» началась с основополагающих опытов Дж. Дж. Томсона в начале 20 века, причем окончание «-метрия» в названии метода появилось после повсеместного перехода от детектирования заряженных частиц с помощью фотопластинок к измерениям ионных токов посредством электронных приборов.

Некоторые определяющие события истории развития масс-спектрометрии:

- 1912 год – Дж. Дж. Томсон создал первый масс-спектрограф и получил масс-спектры молекул кислорода, азота, угарного и углекислого газа;
- 1948 год – Камерон и Эггерс сконструировали первый масс-спектрометр с времяпролетным масс-анализатором;
- 1953 год – Пауль запатентовал квадрупольный масс-анализатор и ионную ловушку;
- 1956 год – Фред МакЛафферти и Голке разработали первый газовый хромато-масс-спектрометр;
- 1974 год – Арпино, Болдуин и МакЛафферти, собрали первый жидкостный хромато-масс-спектрометр;
- 1987 год – Карас, Бахман, Бар и Хилленкамп изобрели ионизацию лазерной десорбцией при содействии матрицы (MALDI).

Блок-схема хромато-масс-спектрометра показана на рис. 1.

Устройство хромато-масс-спектрометра

Принцип устройства масс-спектрометра основан на воздействии магнитного и электрического полей на движущиеся заряженные частицы. Магнитное поле изменяет траекторию, а электрическое – ускоряет или замедляет скорость зарядов. Анализируя разницу траекторий ионизированных атомов, движущихся в магнитном поле, можно делать выводы о соотношении массы и заряда иона.

Рассмотрим подробнее блоки, входящие в состав хромато-масс-спектрометра: хроматограф, ионизатор анализируемого вещества, ускоритель ионов и источник магнитного поля в составе масс-анализатора, детектирующее поток ионов устройство и система обработки данных.

Чтобы получить масс-спектр вещества, необходимо превратить нейтральные молекулы и атомы, составляющие это вещество (органическое или неорганическое), в заряженные частицы (ионы). Этот процесс называется ионизацией и происходит в ионном источнике. Вторым необходимым условием ионизации является перевод ионов в газовую фазу. Глубокий вакуум масс-спектрометра обеспечивает беспрепятственное движение ионов, без которого ионы арассеиваются и рекомбинируют, то есть превращаются в незаряженные частицы. Большинство небольших молекул при ионизации приобретают только один положительный или отрицательный заряд. Чем больше молекула, тем больше вероятность того, что во время ионизации она превратится в многозарядный ион. При некоторых видах ионизации (например, электронный удар) молекула может распадаться

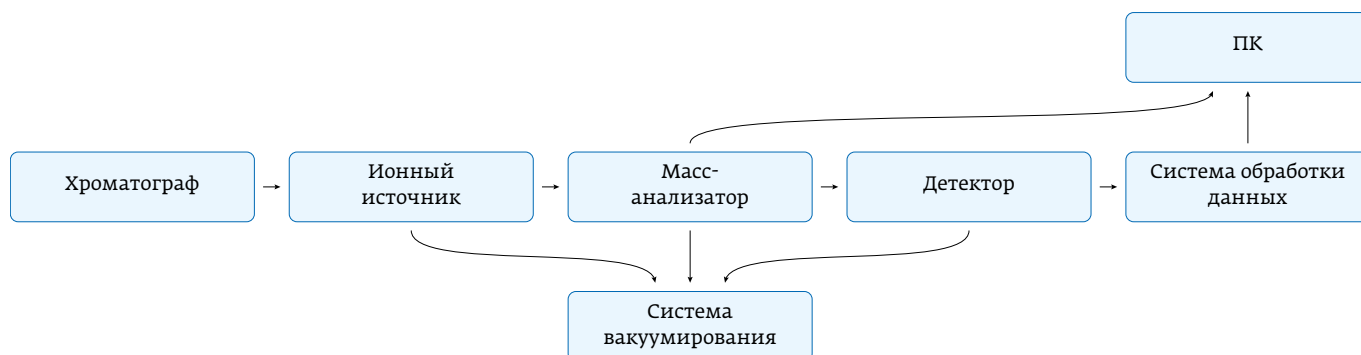


Рис. 1. Блок-схема хромато-масс-спектрометра

на несколько характерных частей, что дает дополнительные возможности при исследовании структуры неизвестных веществ.

Основные способы ионизации органических веществ, в том числе необходимых для газовой хроматографии:

- электронная ионизация,
- химическая ионизация,
- ионизация захватом электронов,
- ионизация в электрическом поле,
- фотоионизация,
- матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация (MALDI).

Полученные при ионизации ионы с помощью электрического поля переносятся в масс-анализатор. В масс-анализаторе начинается второй этап – сортировка ионов по массам (точнее по отношению массы к заряду, или m/z).

Основные типы масс-анализаторов:

- магнитный и электростатический секторный масс-анализатор,
- квадрупольный масс-анализатор,
- времяпролетный масс-анализатор,
- ионная ловушка.

Масс-спектрометр может иметь два масс-анализатора, он называется tandemным. При этом первый масс-анализатор детектирует молекулярные ионы, которые затем его покидают, фрагментируются под действием соударений с молекулами газа-носителя или излучения лазера, после чего их фрагменты анализируются во втором масс-анализаторе.

Квадрупольные хромато-масс-спектрометры в настоящее время наиболее распространены. Принцип их работы будет рассмотрен далее. Отметим лишь, что эти приборы имеют компактные размеры, высокую чувствительность и быстродействие, при этом наиболее доступны по стоимости.

Последним элементом масс-спектрометра является детектор заряженных частиц. Сейчас в качестве детектора используются:

- диодные вторично-электронные умножители, в которых ион, попадая на первый диод, выбивает из него пучок электронов. Они попадают на следующий диод и вызывают эмиссию еще большего количества электронов и т. д.;
- фотоумножители, регистрирующие свечение, которое возникает при бомбардировке ионами люминофора;
- микроканальные умножители, системы типа диодных матриц и коллекторы, собирающие все ионы, попавшие в данную точку пространства (коллекторы Фарадея) [2].

Для обработки масс-спектра детектор (регистрирующее устройство) связан с компьютером, который, кроме этого, управляет параметрами хромато-масс-спектрометра.

Объединение двух методов (хроматографии и масс-спектрометрии) в едином приборе имеет проблему – рабочее давление, поскольку газовый хроматограф работает при атмосферном давлении, а масс-спектрометр – в условиях глубокого вакуума. Однако более мощные вакуумные системы масс-спектрометра и капиллярные колонки хроматографа с малыми потоками газа-носителя (0,5–2,0 мл/мин) значительно облегчили задачу объединения. При этом плавный кварц, из которого изготовлена капиллярная колонка, позволяет ввести конец колонки непосредственно в ионный источник. Все это сделало метод газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС) простым и эффективным. Не стоит забывать, однако, что стыковка хроматографа и масс-спектрометра все-таки является компромиссом, поскольку давление в ионном источнике оказывается несколько выше идеального, а выходное отверстие хроматографической колонки функционирует в условиях вакуума, что несколько ухудшает хроматографическое разрешение [3].

Хромато-масс-спектрометры используются для анализа, в основном, органических соединений. Органические образцы представляют собой сложные смеси индивидуальных веществ. Например, автомобильный бензин состоит из более чем 600 компонентов. Задача масс-спектрометра заключается не только в качественном, но и количественном анализе каждого из компонентов, входящих в анализируемое вещество. При определении таких веществ сочетание капиллярной газовой хроматографии с масс-спектрометрией является идеальным. Для газовой хроматографии наиболее подходит ионный источник масс-спектрометра с ионизацией электронным ударом, поскольку в колонке хроматографа соединения уже находятся в газовой фазе. Приборы, в которых масс-спектрометрический детектор скомбинирован с газовым хроматографом, называются хромато-масс-спектрометрами («хромас»).

Важной характеристикой прибора при анализе органических соединений является чувствительность (отношение сигнала к шуму), для улучшения которой прибегают к ионно-селективному детектированию. Однако в приборах низкого разрешения при этом ухудшается не менее важный параметр – достоверность идентификации. Высокая чувствительность хорошо сочетается с достоверностью определения компонентов в квадрупольных масс-спектрометрах нового поколения. Использование,

например, искривленного квадрупольного пре-фильтра для снижения шума путем предотвращения попадания нейтральных частиц в детектор позволяет добиваться высоких характеристик прибора.

Примером такого прибора является хромато-масс-спектрометр «Кристаллюкс-4000М» – «Маэстро-αМС», разработанный совместно компанией «Интерлаб» и НПФ «Мета-хром» (рис. 2).

Принцип действия и конструкция хромато-масс-спектрометра «Кристаллюкс-4000М» – «Маэстро-αМС»

Технические характеристики хромато-масс-спектрометра «Кристаллюкс-4000М» – «Маэстро-αМС» приведены в табл. 1.

Принцип действия и конструкция хромато-масс-спектрометра «Кристаллюкс-4000М» – «Маэстро-αМС», согласно «Руководству по эксплуатации», состоит в следующем.

В масс-селективном детекторе используется ионизация электронами (электронный удар). Выносимые газом-носителем из хроматографической колонки молекулы химических веществ попадают в источник ионов, где ионизируются потоком электронов, движущихся от катода к аноду с энергией порядка 70 эВ. При этом наблюдается фрагментация ионов, химические особенности которой известны и хорошо изучены. Зарегистрированные при ионной ионизации масс-спектры хорошо воспроизводимы, что создало возможность создания библиотек, содержащих сотни тысяч спектрограмм различных химических соединений. Это существенно облегчает идентификацию и выполнение качественного и количественного анализов. Источник ионов собран в виде съемного блока, размещаемого на переднем фланце вакуумной камеры.

Сформированный с помощью электронной оптической системы пучок ионов фокусируется и направляется при небольшом ускоряющем напряжении в квадрупольный фильтр для масс. Квадрупольный фильтр относится к анализаторам динамического типа и состоит из четырех параллельных стержней с гиперболическим или круглым сечением. Противоположные стержни соединены и находятся под напряжением, складывающимся из двух компонент: постоянного (U) и высокочастотного напряжения ($U \cos \omega t$). Ко второй паре стержней подводится равная по величине (но противоположная по знаку) компонента постоянного напряжения, а высокочастотная составляющая сдвинута по фазе на 180° . Разделение ионов



Рис. 2. Хромато-масс-спектрометр «Кристаллюкс-4000М» – «Маэстро-αМС»

по соотношениям массы к заряду обеспечивается благодаря тому, что при прохождении ионов через зону постоянного и переменного электрических полей часть ионов имеет ограниченную амплитуду колебаний, в то время как амплитуда другой части ионов (обладающих иной массой) неограниченно возрастает со временем. Ионы с ограниченной амплитудой колебаний проходят на детектор (регистратор) и их интенсивность (ионный ток) регистрируется в виде пика. Ионы с нестабильными траекториями попадают (в конечном счете) на стержни квадрупольного фильтра и до регистратора не доходят. Перестройка полосы пропускания по массам осуществляется линейно изменяющимися амплитудами напряжений на стержнях квадрупольного фильтра. Реализуются разные режимы регистрации ионов. В частности, обнаружение ионов можно производить в режиме сканирования во всем спектральном диапазоне, или в режиме регистрации индивидуальных ионов (обозначаемом сокращением SIM, образованным от слов Select Ion Monitoring). Режим сканирования дает возможность последовательной регистрации всех имеющихся ионов в заданном диапазоне масс. Этот подход оптимален для качественного анализа, поскольку после получения масс-хроматограмм, зарегистрированных по полному ионному току, возможно считывание масс-спектрограмм из каждой точки таких хроматограмм.

Детектор преобразует энергию принимаемых им заряженных частиц в электрический сигнал, передаваемый системе обработки данных для обработки специальным программным обеспечением, загруженным в персональный компьютер.

Применение

Трудно представить область человеческой деятельности, где не нашлось бы места масс-спектрометрии [4]:

- разработка новых лекарственных средств для спасения человека от ранее неизлечимых болезней, контроль производства лекарств, генная инженерия и биохимия, протеомика;
- контроль над распространением наркотических и психотропных средств, криминалистический и клинический анализ токсичных препаратов, анализ взрывчатых веществ;
- анализ нефти и нефтепродуктов для оптимизации процессов переработки нефти, для поиска

геологами новых нефтяных полей, определения виновных в разливах нефтяных пятен в океане или на земле;

- определение следовых количеств химических средств, например пестицидов, в продукции сельского хозяйства и пищевых продуктах;
- анализ экотоксикантов, возникающих при техногенных катастрофах – например, печально известных диоксинов;
- анализ материалов ядерной энергетики, например, для определения степени обогащения расщепляющихся материалов и их чистоты;
- медицинская диагностика заболеваний, например изотопная масс-спектрометрия углеродных атомов для прямой медицинской диагностики инфицированности человека *Helicobacter pylori*, которая является самым надежным из всех методов диагностики;
- определение присутствия допинга в крови спортсменов.

Таблица 1. Технические характеристики хромато-масс-спектрометра «Кристаллюкс-4000М» – «Мазетро-аМС»

Техническая характеристика	Значение
Источник ионизации электронным ударом с энергией ионизации, эВ	≥100
Количество переключаемых катодов, шт.	2
Максимальный ток эмиссии, мкА	≥500
Максимальная температура нагрева источника ионизации, °С	≥350
Форвакуумный насос с фильтром масляного тумана со скоростью откачки, м ³ /ч	≥3,3
Турбомолекулярный насос производительностью, л/с	≥300
Диапазон масс, а. е. м.	От 1,0 до 1200
Чувствительность в режиме электронной ионизации при вводе 10 ⁻¹¹ г гексахлорбензола	Отношение сигнал/шум ≥1500:1
Инструментальный предел детектирования при восьми последовательных вводах 100 фг/мкл раствора октафторнафталина, фг	≤10
Режимы сканирования: полное сканирование, селективный мониторинг ионов (SIM)	Наличие
Максимальная скорость сканирования, а. е. м. /с	≥20 000
Максимальная рабочая температура интерфейса ГХ, °С	400
Префильтр, препятствующий загрязнению квадруполя и уменьшающий шум	Наличие
Возможность оснащения МСД-устройством сканирования по энергии электронов	Наличие
Предустановленная электронная библиотека масс-спектров химических веществ	NIST 20
Количество масс-спектров и структурных формул веществ в электронной библиотеке масс-спектров, шт.	300 000
Применение в программном обеспечении встроенной библиотеки оптимальных ионов (SIM ионов)	Наличие
Протокол автоматической квалификации OQ / IQ / PQ	Наличие

Впечатляющим примером достижений этого метода является его использование в работе космического аппарата, исследовавшего Марс с целью обнаружения жизни на этой планете. Масс-спектрометр выполнил анализ 14 образцов почвы с поверхности Марса. Признаков жизни обнаружено не было, несмотря на то, что предел обнаружения органических веществ составлял $10^{-7}\%$ [5].

Некоторые конкретные методики применения хромато-масс-спектрометрии приведены ниже.

Воздух

- МУК 4.1.1044-01. Хромато-масс-спектрометрическое определение полициклических ароматических углеводородов в воздухе;
- ПНД Ф 13.2:3.64-08. Методика измерений массовой концентрации полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны методом хромато-масс-спектрометрии;
- МУК 4.1.733-99. Хромато-масс-спектрометрическое определение фенола в воздухе;
- МУК 4.1.618-96. Методические указания по хромато-масс-спектрометрическому определению летучих органических веществ в атмосферном воздухе;
- ГОСТ 32524-2013. Метилметакрилат. Определение содержания в воздушной среде;
- ПНД Ф 13.3.64-08. Количественный химический анализ атмосферного воздуха и выбросов в атмосферу. Методика выполнения измерений суммарного содержания полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов в пересчете на 2, 3, 7, 8-тетрахлордибензо-*p*-диоксин в пробах атмосферного воздуха методом хромато-масс-спектрометрии;
- ПНД Ф 13.1.65-08. Методика выполнения измерений суммарного содержания полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов в пересчете на 2, 3, 7, 8-тетрахлордибензо-*p*-диоксин в пробах промышленных выбросов в атмосферу методом хромато-масс-спектрометрии;
- ФР 1.31.2014.17407. Количественный химический анализ атмосферного воздуха и выбросов в атмосферу. Методика измерений массовой концентрации полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов в промышленных выбросах в атмосферу методом хромато-масс-спектрометрии (2014);
- МУК 4.1.2594-10. Определение стирола, фенола и нафталина в воздухе методом хромато-масс-спектрометрии.

Вода

- ГОСТ Р 54503-2011. Вода. Методы определения содержания полихлорированных бифенилов;
- ГОСТ 32596-2013. Бензидин. Измерение концентрации бензида в воде методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии;
- МУК 4.1.3093-13. Хромато-масс-спектрометрическое определение метил-трет-бутилового эфира в воде;
- МУК 4.1.663-97. Определение массовой концентрации органических соединений в воде методом хромато-масс-спектрометрии;
- ISO 18857-2:2009. Качество воды. Определение некоторых алкилфенолов. Часть 2. Газохроматографическое/масс-спектрометрическое определение алкилфенолов, их этоксилатов и бисфенола А в нефилтрованных пробах после твердофазной экстракции и дериватизации;
- ISO 18856:2004. Качество воды. Определение содержания некоторых фталатов с применением газовой хроматографии/масс-спектрометрии;
- МУК 4.1.737-99. Хромато-масс-спектрометрическое определение фенолов в воде – экстракция ГХ-МС;
- МУК 4.1.738-99. Хромато-масс-спектрометрическое определение фталатов и органических кислот в воде;
- МУК 4.1.739-99. Хромато-масс-спектрометрическое определение бензола, толуола, хлорбензола, этилбензола, *o*-ксилола, стирола в воде – экстракция ГХ-МС;
- ASTM D 7065-11. Standard Test Method for Determination of Nonylphenol, Bisphenol A, *p*-tert-Octylphenol, Nonylphenol Monoethoxylate and Nonylphenol Diethoxylate in Environmental Waters by Gas Chromatography Mass Spectrometry;
- ASTM D5790-95 (2012). Standard Test Method for Measurement of Purgeable organic compounds in Water by capillary column gas Chromatography / Mass Spectrometry. Soil Quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by gas chromatography Method with mass spectrometric detector;
- ASTM D4128-06. Standard Guide for Identification and Quantitation of Organic Compounds in Water by Combined Gas Chromatography and Electron Impact Mass Spectrometry.

Почва

- ПНД Ф 16.1:2.2:3.56-08. Количественный химический анализ почв и отходов. Методика измерений массовой доли полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов в почвах, грунтах, илах, донных отложениях, шламах, летучей золе методом хромато-масс-спектрометрии;

- МУК 4.1.1061-01. Хромато-масс-спектрометрическое определение летучих органических веществ в почве и отходах производства и потребления;
- МУК 4.1.1062-01. Хромато-масс-спектрометрическое определение труднолетучих органических веществ в почве и отходах производства и потребления;
- ГОСТ ISO 10382-2020. Качество почв. Определение хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов;
- ISO 18287:2006. Soil Quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by gas chromatography Method with mass spectrometric detector.

Пищевая промышленность

- ГОСТ 34900-2022. Жиры и масла животные и растительные. Определение содержания 2-моноклорпропандиола и эфиров жирных кислот 2-моноклорпропандиола, 3-моноклорпропандиола и эфиров жирных кислот 3-моноклорпропандиола и глицидиловых эфиров жирных кислот с применением ферментативного гидролиза;
- ГОСТ ISO 18363-3-2020. Жиры и масла животные и растительные. Определение содержания сложных эфиров жирных кислот моноклорпропандиолов (МХПД) и глицидола с применением ГХ-МС. Часть 3. Метод с использованием кислотной переэтерификации и измерение содержания 2-МХПД, 3-МХПД и глицидола;
- ГОСТ 33490-2015. Молоко и молочная продукция. Обнаружение растительных масел и жиров на растительной основе методом газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием;
- ГОСТ 31792-2012. Рыба, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Определение содержания диоксинов и диоксинподобных полихлорированных бифенилов;
- ГОСТ 32194-2013 (ISO 14181:2000). Корма, комбикорма. Определение остатков хлорорганических пестицидов методом газовой хроматографии;
- СТБ EN 15662-2017. Продукция пищевая растительного происхождения. Определение остатков пестицидов с применением ГХ-МС и/или ЖХ-МС/МС после экстракции/разделения ацетонитрилом и очистки с применением дисперсионной ТФЭ. Метод QuEChERS.

Промышленность

- ISO 17257. Каучук и резина. Идентификация полимеров. Пиролитический метод газовой хроматографии с использованием масс-спектрометрического обнаружения;

- ГОСТ Р ИСО 17070-2017. Кожа. Химические испытания. Метод определения содержания пентахлорфенола и изомеров тетрахлорфенола, трихлорфенола, дихлорфенола и моноклорфенола;
- UOP 672-84. Aromatic Hydrocarbon Types in Detergent Alkylates Using Low Voltage Mass Spectrometry;
- ASTM D 5769-98. Standard Test Method for Determination of Benzene, Toluene, and Total Aromatics in Finished Gasolines by Gas Chromatography/Mass Spectrometry;
- ASTM D 2425-04 (2009). Standard test method for hydrocarbon types in middle distillates by mass spectrometry;
- ASTM D 2789-95 (2016). Standard Test method for hydrocarbon types in low olefinic gasoline by mass spectrometry;
- ASTM D 4128-06. Standard Guide for Identification and Quantitation of Organic Compounds in Water by Combined Gas Chromatography and Electron Impact Mass Spectrometry;
- Практическое руководство по скринингу лекарственных, наркотических веществ и их метаболитов методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором для целей судебной токсикологии. Ч.1 и Ч.2. Мелентьев А.Б. Челябинск, 2001.

Наркотические средства

- Идентификация наркотических и психоактивных веществ в биологических жидкостях и волосах методом ГХ-МС. Информационное письмо. Савчук С.А., Изотов Б.Н. ФБГУ ННЦ МЗ. М., 2014;
- Судебно-химические исследования биологических объектов наркотических и психоактивных веществ методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией. Методические рекомендации. Савчук С.А. М., 2014;
- SOP № 4.4. Качественный и количественный анализ мочи на содержание морфина и кодеина методом хромато-масс-спектрометрии;
- SOP № 4.5. Качественный и количественный анализ мочи на содержание амфетамина и метамфетамина методом хромато-масс-спектрометрии;
- SOP № 4.7. Качественный и количественный анализ мочи на содержание 6-ацетилморфина методом хромато-масс-спектрометрии;
- Количественное определение лидокаина в крови методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии. Шилова Е.А., Катаев С.С. Актуальные вопросы судебно-химических, химико-токсикологических исследований и фармацевтического анализа (Материалы Российской научно-практической конференции

- с международным участием (28 сентября – 3 октября 2009 года), г. Пермь. С. 70–73;
- Методика количественного определения морфина, кодеина и димедрола в крови методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором (метод BLOPPRO). Челябинск, 2002;
- Методика количественного определения фенобарбитала и циклобарбитала в виде их метиловых эфиров методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектором. Мелентьев А. Б., Челябинск, 2003;
- Обнаружения метаболитов синтетических каннабимиметиков в моче, волосах и сыворотке крови методом ГХ-МС. Информационное письмо. М., 2014;
- Определение промедола (тримеперидина) и кетамина в крови методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Мелентьев А. Б., ЖАХ, М.: Наука, 2004;
- Определение хлорпромазина и левомепромазина в крови газовой хроматографией с масс-селективным детектором. Шумская Н. В., Мелентьев А. Б., Тюрин А. Ю. Челябинск, 2006;

- Практическое руководство по скринингу лекарственных, наркотических веществ и их метаболитов методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором для целей судебной токсикологии. Мелентьев А. Б. Челябинск, 2001;
- Обнаружение и количественное определение летучих токсических веществ и гликолей в биологических объектах методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором. Пособие для врачей клинических лабораторий диагностики. М., 2003.

Литература

1. Руденко Б. А., Руденко Г. И. *Высокоэффективные хроматографические процессы. Т. 1. Газовая хроматография.* М., Наука, 2003, 287 с.
2. Яшин Я. И., Яшин Е. Я., Яшин А. Я. *Газовая хроматография.* М., Транслит, 2009, 528 с.
3. Лебедев А. Т. *Масс-спектрометрия в органической химии,* М., Бином, 2003, 493 с.
4. Полищук В. Р. *Как разглядеть молекулу.* М., Химия, 1979, 384 с.
5. Шаповалова Е. Н., Пирогов А. В. *Хроматографические методы анализа. Методическое пособие для специального курса* М., МГУ им. М. В. Ломоносова, 2007, 204 с.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- * Высокая чувствительность и точность измерений
- * Полная автоматизация
- * Адаптация под любые задачи заказчика

- * Надежность и простота эксплуатации
- * Изучения и моделирования каталитических процессов
- * Лабораторные установки для нефтехимии

ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- * Нефтегазопереработка и добыча
- * Химическая промышленность
- * Энергетика
- * Экология
- * Медицина
- * Сельское хозяйство
- * Пищевая промышленность
- * Криминалистика





Хромато-масс-спектрометр «Кристаллюкс-4000М» – «Мазстро-аМС»

Пилотная установка испытания катализатора СТК СО, предназначенная для оценки эффективности катализатора среднетемпературной конверсии СО процесса парового риформинга метана

ООО «НПФ «Мета-хром»
424000, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Баумана, 100
Тел.: (8362) 42-49-97, 73-45-24, 42-22-66 | Факс: 42-49-97



Web: www.meta-chrom.ru
E-mail: m_chrom@mari-el.ru

References

1. Rudenko B. A. Rudenko G. I. *Highly efficient chromatographic processes*. T.I. Gas chromatography. M., Nauka publ., 2003, 287 p. (in Russ.).
2. Yashin Ya. I. Yashin E. Ya. Yashin A. Ya. *Gas chromatography*. M., TransLit. 2009, 528 p. (in Russ.).
3. Lebedev A. T. *Mass spectrometry in organic chemistry*. M. Beonom publ., 2003, 493 p. (in Russ.).
4. Polishchuk V. R. *How to see a molecule*. M., Himiya publ. 1979, 384 p. (in Russ.).
5. Shapovalova E. N., Pirogov A. V. *Chromatographic methods of analysis. Methodological manual for a special course*. M.: MSU publ., 2007, 204 p. (in Russ.).

Авторы / Authors

Астахов Александр Викторович, заместитель директора по науке Научно-производственной фирмы «Мета-хром», РФ, Республика

Марий Эл, город Йошкар-Ола, ул. Баумана, 100. Область научных интересов: хроматография, масс-спектрометрия, аналитическое оборудование.

Astakhov Alexander Viktorovich, Deputy Director for Science, Research and Production Company Meta-Chrome, Russian Federation, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, st. Bauman, 100. Area of scientific interests: chromatography, mass spectrometry, analytical equipment.

Astakhov-AV@meta-chrom.ru

Конфликт интересов / Conflict of Interest

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.07.2024
Принята к публикации 19.08.2024

В России создан виртуальный музей химии



Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования начал работу над созданием виртуального музея химии в рамках федерального проекта «Популяризация науки и технологий» и инициативы «Работа с опытом» Десятилетия науки и технологий.

«Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН – это старейший химический институт Российской академии наук, отсчитывающий свою историю от Химической лаборатории Академии наук, организованной М. В. Ломоносовым в 1748 году. В честь юбилея лаборатории в 2023 году в ИОНХ РАН была издана книга «275 лет химической науке в России» (В. К. Иванов, А. С. Паевский, Ю. А. Золотов); из представленных в этой книге материалов наглядно прослеживается роль научных школ, созданных блестящими российскими химиками, в развитии и преемственности научных исследований в нашей стране.

При подготовке книги ее авторы убедились в том, что материалы по истории российской химической науки зачастую труднодоступны, а некоторые ее эпизоды и вовсе остаются практически неизвестными. Именно по этой причине в ИОНХ РАН в прошлом году родилась идея о воссоздании Комиссии РАН по истории химии, реализованная при деятельной

поддержке Отделения химии и наук о материалах РАН. А сейчас начато создание виртуального музея химии, в котором значительное внимание, разумеется, будет уделено именно отечественной химии», – рассказал научный руководитель проекта, директор ИОНХ РАН, член-корреспондент РАН Владимир Иванов.

Творческий коллектив, который готовит контент для нового химического портала, возглавил известный научный журналист, руководитель пресс-службы другого крупного российского химического института, ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, куратор инициативы «Работа с опытом» и член научного комитета национальной научной премии «Вызов» Алексей Паевский.

«Инициатива „Работа с опытом“, как мне кажется, одна из важнейших инициатив в Десятилетии. Наш проект только в начальной стадии развития, и работы здесь – не на один год. Но в результате мы хотим создать масштабную

картину развития химии не только в России, но и в мире, поскольку любая научная дисциплина – явление планетарное», – отметил А. Паевский.

Экспозиция виртуального музея химии будет включать в себя различные рубрики:

- биографии выдающихся химиков России и мира;
- история открытия и изучения отдельных веществ;
- новая популярная библиотека химических элементов;
- история химии на карте России (репортажи из химических музеев и музеев науки, домов-музеев выдающихся химиков);
- история химических институтов страны;
- химическая повседневность (история химических сосудов, приборов и устройств, принципы их работы и использование в современной лаборатории).

Также планируется создание «химического» слоя на Яндекс-картах с отметкой памятных мест, связанных с химией.

Следить за пополнением коллекции музея можно в пабликах в VK (<https://vk.com/chemmuseum>) и Телеграм (<https://t.me/chemmuseum>).

Пресс-служба ИОНХ РАН



**26-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ,
СЫРЬЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

26TH INTERNATIONAL EXHIBITION OF EQUIPMENT, RAW MATERIALS
AND TECHNOLOGIES FOR PHARMACEUTICAL PRODUCTION



19–22.11.2024

МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО
CROCUS EXPO, MOSCOW, RUSSIA

**ЗАБРОНИРУЙТЕ
СТЕНД**

BOOK YOUR STAND

PHARMTECH-EXPO.RU

+7 495 799 55 85
pharmtech@ite.group



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

