



# Основные критерии оценки качества и возможностей современных фурье-спектрометров для криминалистического анализа

Ежевская Т.Б.,

кандидат технических наук, научно-производственная фирма «Люмэкс-Сибирь»

Бубликов А.В.,

ведущий инженер, научно-производственная фирма «Люмэкс-Сибирь»

Приобретая современный фурье-спектрометр для решения научно-исследовательских и прикладных задач потенциальный пользователь может испытывать трудности выбора из-за большого ассортимента продаваемых на российском рынке моделей приборов и обилия рекламной информации. Цель настоящей статьи — не рекламируя конкретные приборы и фирмы дать обзор рынка фурье-спектрометров для криминалистики в России, помочь сориентироваться в параметрах и посоветовать — на что обращать внимание в первую очередь, чтобы выбрать фурье-спектрометр с необходимыми и достаточными техническими характеристиками и в нужной комплектации. Такой подход особенно важен для организаций, желающих приобрести полноценный прибор под свои задачи и при этом оптимизировать свои расходы.

На сегодняшний день российский рынок аналитического оборудования предлагает криминалистам более двадцати моделей фурье-спектрометров, как зарубежного, так и российского производства. Далее мы будем рассматривать *как-ким образом* представляют пользователю характеристики своих фурье-спектрометров известные и активно работающие на российском рынке криминалистики фирмы-производители, серийные приборы которых конкурентоспособны по техническим характеристикам, имеют большой набор приставок и аксессуаров для экспертно-криминалистической работы, сертифицированы, прошли апробацию в головных криминалистических организациях и работают в криминалистических подразделениях МВД, Минюста и УФСКН.

Поскольку многие фирмы выпускают ряд моделей для разного вида задач, мы будем опираться на данные фурье-спектрометров для стандартного (рутинного) анализа, а краткая информация о моделях исследовательского класса будет дана в главе 5 «Наличие дополнительных возможностей и соотношение цена-качество». Учитывая то, что фирмы постоянно улучшают свою продукцию, в этой обзорной статье будут приведены названия приборов и оценка их характеристик по состоянию на 28 апреля 2006 года — в этот день в г. Мюнхене (Германия) завершилась международная выставка «Analytica 2006». В данном обзоре будет использована техническая информация по спектрометрам с этой выставки, взятая из реклам, а при недостатке информации — с интернет-сайтов фирм-производителей и их официальных дилеров.

Главные критерии, по которым целесообразно осуществлять выбор фурье-спектрометра:

1. Соответствие технических характеристик решаемым задачам.

1.1. Спектральный диапазон.

1.2. Разрешение.

1.3. Отношение сигнал/шум стопроцентной линии (чувствительность).

1.4. Условия сравнения спектрометров.

1.5. Прочие параметры.

2. Наличие приставок и аксессуаров для криминалистики.

3. Степень автоматизации и возможности программного обеспечения.

4. Предоставляемое сервисное обслуживание и его доступность.

5. Наличие дополнительных возможностей и соотношение цена/качество.

**1. СООТВЕТСТВИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕШАЕМЫМ ЗАДАЧАМ.**

**1.1. Спектральный диапазон.**

Основное правило: диапазон прибора должен соответствовать (или быть на несколько процентов шире) диапазона, содержащего основные информативные спектральные полосы исследуемых объектов. Для большинства задач криминалистики (ЛКП, полимеры, взрывчатые вещества, наркотики и др.), включая анализ нефтепродуктов, требуемый рабочий диапазон волновых чисел определяется как  $400 - 4000\text{см}^{-1}$ , в этом диапазоне лежат все характерные полосы молекулярного поглощения, в этом диапазоне сохранено большинство спектров компьютерных библиотек (спектральных баз данных).

Чтобы определить спектральный диапазон любого фурье-спектрометра надо взять спектральные диапазоны всех его составляющих элементов: излучателя, светоделителя и другой оптики, фотоприемника и найти наименьшую и наибольшую границу.

Все фирмы используют в ИК области широкодиапазонные ИК излучатели и зеркальную оптику, поэтому спектральный диапазон определяется светоделителем и приемником. Естественно, в повседневной работе нежелательно использовать сменные светоделитель и приемник, а удобнее иметь такой прибор, у которого требуемый диапазон будет перекрываться одним светоделителем и одним приемником.

Нижняя граница по волновым числам. Оптические кристаллы, используемые в качестве подложек светоделителей: KBr, KRS, CsJ, прозрачные от видимой области спектра (десятки тысяч обратных сантиметров) до  $400\text{см}^{-1}$  (25 мкм) и дальше, к сожалению, влагонестойчивы, дороги и, даже с защитным покрытием, имеют ограниченный срок службы. Их использование усложняет конструкцию приборов: вводится герметизация, а значит, добавляются лишние окна, снижающие чувствительность прибора, добавляются осушители с силикагелем, который надо периодически прокалывать.

Но есть хороший современный влагоустойчивый материал, технология производства которого освоена и в России — это высококочистый, полученный методом химического осаждения из газовой фазы (а не спрессованный из гранул) селенид цинка «си-ви-ди» — ZnSe CVD, который имеет практически неограниченный срок службы (более 15 лет) и максимальную область пропускания  $470 - 25000\text{см}^{-1}$ .



Тем криминалистам, которые не анализируют качество нефтепродуктов и не используют диапазон  $400\text{--}470\text{см}^{-1}$  для каких-либо специальных задач, а также для тех, кто работает в условиях повышенной влажности, рекомендуется выбирать спектрометры с ZnSe CVD. Тогда и окна жидкостных кювет, и кристалл приставки МНПВО, на который наносятся, в том числе, и жидкости, могут быть из ZnSe CVD, что значительно увеличивает срок службы жидкостных кювет и приставки МНПВО. Следует заметить, что незначительное уменьшение рабочего диапазона ( $470\text{см}^{-1}$  вместо  $400\text{см}^{-1}$ ) не влияет на достоверность результата при автоматизированном поиске по спектральным базам.

У материала ZnSe CVD есть еще одно преимущество: из него можно изготовить оптические детали более высокого качества, чем из других широкодиапазонных ИК кристаллов, что положительно сказывается на характеристиках фурье-спектрометра.

Верхняя граница по волновым числам (или нижняя по длинам волн) определяется фотоприемником. Перекрыть весь диапазон одним приемником возможно, но только поступившись чувствительностью.

Обычно используют пироэлектрические приемники:

— пленочный МГ-32М с окнами из оптических кристаллов (KBr, ZnSe) имеет верхнюю границу  $7200\text{см}^{-1}$ , с окном из германия —  $5800\text{см}^{-1}$ . Бромид калия поглощает влагу, так что селенид цинка и здесь является наиболее успешным материалом. Но, если учесть, что в диапазоне свыше  $5000\text{см}^{-1}$  характерных полос поглощения нет и он практически в криминалистике не используется, окно из германия, стоящее в серийных фотоприемниках, как наиболее прочное и защищающее от наводок, вполне подходит.

— кристаллические LiTaO<sub>3</sub>, DTGS, DLATGS — от  $7200\text{см}^{-1}$  до  $7800\text{см}^{-1}$  (в зависимости от модели). Приемники из дейтерированного триглицинсульфата пользуются большой популярностью, т.к. на границах рабочего диапазона  $400\text{--}4000\text{см}^{-1}$  имеют более высокий уровень сигнала, чем другие приемники, правда, многие модели не имеют выигрыша сигнал/шум 100% линии в центральном диапазоне  $700\text{--}2500\text{см}^{-1}$  и дороже на порядок, чем пленочные, но если конкретному пользователю важны именно края диапазона, то использование таких приемников оправдано.

### 1.2. Разрешение.

Основное правило: «90% всех задач спектроскопии можно решить с разрешением  $1\text{см}^{-1}$ , 9% задач — с разрешением  $0.1\text{см}^{-1}$  и только для 1% задач нужно разрешение лучше, чем  $0.1\text{см}^{-1}$ ».

Типичная ошибка пользователей фурье-спектрометров: снятие спектров, которые имеют реальное разрешение, например,  $4\text{см}^{-1}$ , с установкой разрешения спектрометра  $1\text{см}^{-1}$  или даже  $0.5\text{см}^{-1}$  («чтобы было лучше....»). Лучше не будет, т.к. при более высоком разрешении отношение сигнал/шум 100% линии будет хуже и, снимая спектр, пики которого уже разрешаются при  $4\text{см}^{-1}$ , с использованием разрешения  $0.5\text{см}^{-1}$  получим только худшее качество спектра (а ширина пиков не изменится).

По этой же причине не надо приобретать модель прибора с высоким разрешением, если она стоит дороже, а вы не предполагаете решать задачи, требующие детектирования узких полос (газовый анализ) — будут потрачены лишние деньги на неиспользуемые функции.

В характеристиках фурье-спектрометров указывается либо лучшее из достижимых разрешений —  $0.5$  или  $1\text{см}^{-1}$ , либо ряд разрешений  $1, 2, 4, 8\text{см}^{-1}$ . Обычно приводятся реально достижимые разрешения, после необходимой аподиза-

ции, улучшающей форму спектра (об аподизации см. статью в журнале ЭК № 1, стр. 25). Если же в этом ряду указаны разрешения до аподизации, то аподизированный ряд будет выглядеть так:  $2, 4, 8, 16\text{см}^{-1}$  (т.к. самое сильное уширение аппаратной функции после аподизации — 2 раза) и реальные разрешения  $2$  и  $4\text{см}^{-1}$ , необходимые для работы криминалистов, в указанном ряду разрешений достигаются в любом случае.

### 1.3. Отношение сигнал/шум стопроцентной линии (чувствительность).

Стопроцентная линия прибора, полученная делением двух последовательно снятых одинаковых спектров пропускания прибора в отсутствие образца, определяет отношение сигнал/шум конкретного прибора во всем спектральном диапазоне. Этот параметр отражает чувствительность прибора и возможность получения на нем качественных спектров.

Требования к этой характеристике фурье-спектрометра в криминалистике — максимальные, потому что:

Во-первых, криминалисты часто работают с очень малыми количествами исследуемых веществ, что заставляет применять различные сложные оптические приставки с неизбежно большими энергетическими потерями: ИК микроскопы, МНПВО и НПВО, приставки зеркального и диффузного отражения, микрофокусирующие приставки для исследования микроколичеств веществ, растертых и запрессованных в микропланшеты с оптическими кристаллами, жидкостные кюветы с наполнителем и пр.

Во-вторых, могут быть ситуации, когда необходимо получить качественный спектр за предельно короткое время: объект может разрушиться в процессе работы, нужно набрать статистические данные и проч. В этом случае желательно иметь максимальное отношение сигнал/шум 100% линии прибора за минимальное время, не полагаясь на накопление спектров (отношение сигнал/шум пропорционально корню из числа накоплений).

### 1.4. Условия сравнения спектрометров (по основным критериям):

В литературе принято сравнивать ИК фурье-спектрометры для рутинного (стандартного) анализа в контрольном диапазоне волновых чисел, где отсутствуют линии поглощения воды:  $2000\text{--}2200\text{см}^{-1}$ , при реальном (после аподизации) разрешении  $4\text{см}^{-1}$ , за одинаковое время. В рекламах приводятся для 100% линий значения peak-to-peak (P-P) — максимальный размах шумовой дорожки и (или) RMS — среднее квадратичное значение шума. Есть фирма, которая указывает несколько цифр для критерия сигнал/шум — типичное и минимально допустимое значение, а также достижимый максимум для данной модели спектрометра, это хороший пример для подражания.

До сих пор нет стандартного методического подхода при определении характеристики сигнал/шум (S/N), поэтому приведенные в рекламах данные имеют (или специально не имеют) сопроводительные указания на условия получения этой характеристики. Рассмотрим эти условия более подробно:

— выбор диапазона и способ вычисления S/N в этом диапазоне:

Возьмем четыре примера из реклам известных фирм и расположим их в порядке возрастания отношения S/N (путем намеренного «улучшения» этой характеристики выбором диапазона).

— Сигнал/шум указан в диапазоне  $2000\text{--}2200\text{см}^{-1}$  и считается по всему этому диапазону

— Сигнал/шум указан в контрольном диапазоне  $2100\pm 50\text{см}^{-1}$



— Сигнал/шум указан в контрольном диапазоне 2000-2200 см<sup>-1</sup>, но сама методика такова, что в этом интервале для расчета RMS выбирается поддиапазон 50 см<sup>-1</sup> с наименьшим уровнем шума.

— Сигнал/шум указан при 2100 см<sup>-1</sup> (в этом случае, как можно догадаться, возможность поднять оценку прибора — неограниченная).

— выбор реального разрешения в спектре после аподизации:

Перед приведенным в документации числом в обратных сантиметрах должно быть слово «разрешение» (а не «шаг в спектре») и сделана пометка, что взят аподизированный спектр, причем сам тип аподизации в данном случае не важен — может использоваться треугольная, бипараболическая, Happ-Genzel, Beer-Norton и другие функции, главное, что указывается реально существующее разрешение. Поскольку любое разрешение (до аподизации или после любой аподизации) — нецелое число, а аппроксимировать в фурье-анализе — это терять точность, то в рекламах округляют получившееся разрешение «до целого», выигрывает тот, кто измерил и привел S/N при реальном разрешении максимально близким к 4 см<sup>-1</sup>. Исторически сложилось, что приводить S/N при 8 см<sup>-1</sup> — не принято, а при 2 см<sup>-1</sup> — невыгодно. Поэтому 4 см<sup>-1</sup> можно считать «устоявшимся стандартом».

— выбор времени измерения в секундах или минутах:

Чаще всего сведения приводятся за 1 минуту, если дается другое время, например, несколько секунд, то надо взять отношение этих длительностей, извлечь корень и умножить S/N на эту величину, приведя ее тем самым к 1 минуте. Неправильно, если S/N указан за некоторое число сканов без указания их длительности, так что нельзя пересчитать время накопления спектров. Это должно вызывать недоверие к указанной характеристике S/N.

— выбор формулы вычисления RMS:

Для вычисления среднеквадратичного уровня шума могут быть использованы разные математические выражения. Ниже, в качестве примера, приведена одна из формул для определения RMS

$$RMS_{noise} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2 - \frac{(\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}{n - 2}}$$

Данное выражение отличается от классической формулы для определения среднеквадратичного тем, что в числителе дроби присутствует вычитаемое, содержащее квадраты отклонения от среднего значения для абсцисс, что несколько уменьшает получаемое в итоге значение RMS.

Казалось бы, что всегда более правильным является сравнение приборов по значению peak-to-peak, однако, существует наклон базовой линии, и некоторые фирмы приводят данные P-P после выравнивания базовой линии, что значительно улучшает результаты по сравнению с теми, кто этого не делает.

— выбор времени накопления базовой линии:

Очень распространена схема вычисления указанных в документации значений сигнал/шум, когда зарегистрированный за заданное время (например, 1 минуту или 5 секунд) спектр пропускания делится на референтный, представляющий собой сумму большего количества спектров, как правило — 256, что дает значительный выигрыш, и о чем не всегда сообщается в рекламных материалах.

Практически все современные фурье-спектрометры построены по однолучевой схеме и для их объективного

сравнения по критерию сигнал/шум важно, чтобы референтный спектр (background) был получен за одинаковое с образцовым спектром время.

— выбор используемого типа детектора:

S/N очень сильно зависит от фотоприемника, стоящего в приборе. В сравниваемых спектрометрах могут оказаться охлаждаемые и неохлаждаемые детекторы. Охлаждаемые детекторы обладают гораздо большей чувствительностью, но их использование приводит к существенному удорожанию прибора, неудобства могут быть связаны и с необходимостью постоянного применения хладагентов. Для большинства современных приборов охлаждаемые детекторы предлагаются в качестве опции (как дополнительное устройство), исключение составляют лишь оптоволоконные фурье-спектрометры и приставки, а также ИК микроскопы, где обычные фотоприемники просто технически не могут быть использованы вследствие больших энергетических потерь в оптической системе и необходим МСТ детектор с азотным охлаждением.

Очевидное правило: чувствительность прибора и, соответственно, тип детектора должны соответствовать решаемым задачам. Приобретать высокочувствительный прибор с дорогим фотоприемником для обычных измерений нет необходимости, так как, в силу используемого физического принципа получения спектров, фурье-спектрометр изначально превосходит по чувствительности другие типы приборов во много раз.

Если S/N в рекламе приводится без указания типа приемника или перечислен ряд приемников, среди которых есть охлаждаемый, то S/N может быть приведен именно при его использовании. Необходимо узнавать у поставщика отношение сигнал/шум с тем приемником, который действительно будет стоять в вашем приборе.

### 1.5. Прочие параметры.

Скорость сканирования в современном фурье-спектрометре для стандартных измерений должна иметь не менее 2-3 градаций (для разных условий регистрации и работы с различными типами детекторов).

Приборы исследовательского уровня имеют более широкий выбор параметров сканирования разности хода, в том числе и режим «step-scan» для проведения специфических спектральных измерений.

Режимы усиления сигнала. Их может быть несколько. Удобно, когда есть возможность выбора ручной установки, автоматической и режима динамического усиления, при котором используются разные коэффициенты для отдельных участков интерферограммы, что положительно влияет на чувствительность прибора — особенно при получении спектров высокого разрешения, когда интерферограммы имеют большую длину.

### 2. НАЛИЧИЕ НЕОБХОДИМЫХ ПРИСТАВОК И АКСЕССУАРОВ ДЛЯ КРИМИНАЛИСТИКИ.

Если говорить о сравнении, выборе и приобретении прибора для ИК спектроскопии, то полезно заранее иметь полные данные о выпускаемых той или иной фирмой приставках и принадлежностях, даже если их не предполагается приобретать сразу, а также о возможности стыковки конкретного спектрометра с другим оборудованием, в первую очередь с микроскопом, позволяющим проводить спектральные исследования высокого уровня сложности.

Спектральный ИК микроскоп представляет собой высокоточный оптико-электронный прибор, подключаемый к выходному оптическому порту фурье-спектрометра. Микроскоп имеет совмещенные инфракрасный и визуальный каналы, в



качестве детектора всегда используется охлаждаемый жидким азотом высокочувствительный МСТ фотоприемник.

Наименьший линейный размер образца, спектральная характеристика которого может быть получена с помощью современного микроскопа — 10-20 микрон. При этом пользователь полностью контролирует процесс измерений, выделяя при помощи диафрагм желаемые участки объекта и выбирая оптимальные режимы регистрации спектров.

На ИК микроскопе можно снимать спектры пропускания, зеркального, диффузного, а также, используя специальные объективы, нарушенного полного внутреннего отражения.

Чаще всего образцы раскатываются по стальной зеркальной пластине при помощи полированного ролика — излучение при этом дважды проходит сквозь тонкий слой вещества, отражаясь от поверхности подложки.

Работая в режиме пропускания, удобно пользоваться алмазной ячейкой, в которой микрообразец раздавливается между двумя плоскопараллельными поверхностями кристаллов.

Приставки НПВО и МНПВО (одно- и многократного нарушенного полного внутреннего отражения).

Метод МНПВО наиболее удобный и универсальный: на рабочую поверхность оптического элемента (призмы) можно помещать как жидкости, так и твердые образцы, в том числе, в виде порошков, получая при этом высококачественные, однородные спектры без искажений, обусловленных интерференцией, дисперсией, диффузным рассеянием, неравномерностью слоя и т.п.

Отсутствие пробоподготовки для большинства исследуемых объектов и возможность быстрой очистки поверхности кристалла также являются неоспоримыми достоинствами МНПВО, позволяющими отнести его к экспресс-методам анализа.

Основное требование к образцу в данном случае — возможность обеспечить хороший оптический контакт между его поверхностью и кристаллом МНПВО, не повредив при этом последний (механически и химически). Призмы НПВО и МНПВО изготавливают из ZnSe, Ge, KBr, есть и комбинированные элементы — с рабочей поверхностью, выполненной из алмаза.

Приставки зеркального и диффузного отражения могут быть полезны, когда образец непрозрачен из-за большой толщины и нежелательно (или невозможно) его разрушение для получения более тонкого слоя, а также, если проба представляет собой порошкообразное вещество (если использовать приставку диффузного отражения с ячейкой для сыпучих образцов, отпадает необходимость в прессовании таблеток с KBr). В криминалистике приставки отражения используют не так часто, что обусловлено следующими тремя факторами:

1) Задача идентификации образцов часто осложняется неоднородностью результатов, наличием дисперсионных искажений полос и, вследствие этого, необходимостью использования математических коррекций для спектров.

2) Очень велики энергетические потери, особенно для сильно рассеивающих объектов — для получения хорошего спектра необходимо большое число накоплений.

3) В большинстве случаев приставку отражения с успехом может заменить приставка МНПВО, которой вышеуказанные недостатки не свойственны.

Однако, если есть возможность, иметь в арсенале принадлежностей приставку отражения полезно, так как часто удается найти решение спектрометрической задачи и подтвердить его достоверность, сравнив спектры вещества, полученные разными способами.

Приставки отражения наиболее часто применяются для контроля параметров оптических деталей, в производстве полупроводников, стекла, керамики, полимерных пленок и т.п.

Приставки микрофокусирующие фокусируют излучение в пятно размером 1 — 3 мм. Они эффективны при снятии спектров веществ, спрессованных с наполнителем KBr в таблетки такого же диаметра. Хорошую таблетку такого размера легко получить при помощи ручного пресса, при этом требуется очень небольшое количество исследуемого вещества, смешиваемого с бромидом калия в пропорциях 1:50 — 1:30. Если не пользоваться микрофокусирующей приставкой, нужны таблетки большого диаметра (6-12 мм), а значит, нужны и дорогостоящие гидравлические прессы. В работе такой пресс удобнее, но расход бромида калия и требуемое количество исследуемого вещества во много раз больше. Результативность измерений с таблетками большого диаметра без микрофокусирующей приставки — ниже.

Микрофокусирующей приставкой удобно воспользоваться после осаждения исследуемого вещества из раствора на небольшом участке прозрачной подложки — повторное нанесение раствора на один и тот же участок с последующим высушиванием позволяет получить достаточно толстый слой вещества и, соответственно, спектр хорошего качества.

Жидкостные кюветы с набором прокладок разной толщины целесообразно применять для регистрации спектров слабопоглощающих жидкостей (растворов с низкими концентрациями исследуемых веществ).

Окна-подложки используются для исследования пастообразных образцов, вязких жидкостей.

Иногда вместо прессования с KBr исследуемые вещества смешивают с вазелиновым маслом, используя при измерениях окна-подложки из ZnSe. Метод несколько удобнее, чем прессование, однако вазелиновое масло имеет собственные полосы поглощения — это необходимо учитывать при дальнейшей работе со спектром.

### 3. СТЕПЕНЬ АВТОМАТИЗАЦИИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.

Степень автоматизации процесса измерений всех современных фурье-спектрометров практически одинакова — управление осуществляется от персонального компьютера, предпочтительно через USB-интерфейс.

Программное обеспечение имеет максимально широкие возможности для обработки результатов, анализа, создания спектральных баз данных, конвертации и коррекции спектров, поиска по библиотекам.

С учетом динамики развития современной вычислительной техники, появления новых высококачественных мониторов и портативных быстродействующих компьютеров, наименее практичной представляется конфигурация, когда спектрометр имеет встроенный компьютер с монитором, что затрудняет возможность обновления компьютера самим клиентом и не позволяет быстро заменить компьютер при выходе его из строя (при работающем спектрометре).

### 4. ПРЕДОСТАВЛЯЕМОЕ СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЕГО ДОСТУПНОСТЬ.

Гарантийное и постгарантийное обслуживание — важный фактор при выборе оборудования.

Любой современный фурье-спектрометр является технически сложным оптико-электронным прибором, содержащим дорогостоящие комплектующие, поэтому быстрота и доступность фирменного сервиса — существенный плюс в пользу выбора той или иной модели.

Хорошо, когда компания устанавливает продленную гарантию (более одного года), либо предлагает на льгот-





ных условиях заключение договора о постгарантийном обслуживании, ведь, если поломка прибора возникает после окончания гарантийного срока, стоимость ремонта нередко бывает соизмерима с ценой самого спектрометра (это относится, в первую очередь, к импортному оборудованию).

*Модернизация (up-grade) уже приобретенного спектрометра* также является положительным фактором. Под модернизацией понимается:

— заранее предусмотренная доработка до спектрометра более высокого уровня — с более широким спектральным диапазоном и более высоким разрешением (что достигается приобретением и установкой сменных излучателей, светоделителей, высокочувствительных детекторов),

— подключение другого оборудования: ИК микроскопа, хроматографа и т.д.,

— замена компонентов ранее приобретенного спектрометра на появившиеся современные: интерфейс связи с компьютером, оптика из новых материалов или новых конструктивных элементов, энергосберегающие блоки питания, новые разработки в области электроники, обновленное программное обеспечение и проч.

Последний тип модернизации очень нужен российскому пользователю, уже имеющему тот или иной фурье-спектрометр и желающему идти в ногу с прогрессом, но за не очень большие деньги. К сожалению, это редко предлагается зарубежными фирмами-производителями, которые предпочитают снимать с производства оборудование всего трехлетней давности и предлагать к продаже новые модели, совсем немного отличающиеся от предыдущих, с новыми названиями. Так, на выставке «Analytica 2006» в Мюнхене фирма-производитель Thermo Electron вместо спектрометра «Аватар» предложила фурье-спектрометр «Николет-380», фирма «Perkin Elmer» вместо прибора «Spectrum One» — прибор «Spectrum 100». Несколько лет назад фирма «Bruker Optik» сняла с производства относительно дешевый «Вектор-22» и заменила его на более дорогой «Тензор -27».

Рынок заменяет не только хорошие модели на еще более хорошие и дорогие, но и продает старые модели под новыми названиями, поэтому пользователь уже не может найти и обзвонить организации, где стоят такие приборы, и должен быть очень внимателен.

В целом, современные спектрометры достаточно надежны, а неполадки, в основном, связаны со снижением чувствительности из-за недолговечной оптики КВг и с выработкой ресурса ИК излучателей и лазеров.

## 5. НАЛИЧИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА-КАЧЕСТВО

Кроме работы с описанными выше, наиболее часто используемыми приставками и принадлежностями, современные фурье-спектрометры могут применяться для проведения специфических спектральных исследований, для чего у ряда моделей предусмотрена возможность стыковки со специализированными приставками, а также с другим аналитическим оборудованием.

К приставкам более узкого назначения можно отнести системы с оптоволоконными зондами, устройства с возможностью термостабилизации и вакуумирования образцов, многопроходные газовые кюветы.

Приборы исследовательского класса, кроме подключения спектрального микроскопа, имеют возможность стыковки с газовыми хроматографами, устройствами для Раман-спектроскопии и термогравиметрического анализа. Есть фурье-спектрометры с возможностью работы в очень широкой области спектра (от ультрафиолета до дальней ИК) за счет использования набора сменной оптики, детекторов и излучателей. Эти приборы имеют, соответственно, и очень высокую стоимость.

Для импортного оборудования весьма характерно то, что любое, даже самое незначительное, расширение возможностей прибора приводит к его существенному удорожанию в сравнении с базовой моделью и, тем более, по отношению к приборам для рутинного анализа. Поэтому потенциальный пользователь в первую очередь должен четко обозначить круг возможных задач, иначе возможна ситуация, когда, существенно переплатив за дополнительные функции, в дальнейшем он никогда ими не воспользуется.

При сравнении фурье-спектрометров разных производителей по цене обязательно нужно иметь информацию и о стоимости выпускаемых фирмой аксессуаров: оптических приставок, кювет, приспособлений для прессования и т.д. При близкой цене сравнимых по характеристикам спектрометров полная стоимость комплекса с аксессуарами, и особенно со спектральным ИК микроскопом, может отличаться в несколько раз.

В следующих публикациях мы планируем, более подробно написать о применении фурье-спектрометров, оптических приставок и прочего сопутствующего оборудования для исследования различных типов объектов при проведении криминалистических экспертиз, осветить вопросы методического обеспечения, пробоподготовки и анализа полученных спектров.

## Применение спектрофотометрии УФ-, видимого и ближнего ИК-диапазона в судебной медицине и криминалистике

Муртазина Н.Р.,  
кандидат химических наук, ООО «КОРТЭК»

Применение методов аналитической химии в экспертной работе во многом способствует эффективному проведению следствия и судебного разбирательства [1]. Среди инструментальных аналитических методов, применяющихся в криминалистической и судебно-медицинской экспертизе,

большое распространение получили различные варианты спектрального анализа.

Преимуществами спектральных методов являются достоверность, информативность, быстрота проведения анализа, возможность автоматизации измерений, наличие раз-