



**Методические указания для выполнения
лабораторной работы
«Инфракрасная спектроскопия.
Расшифровка спектров наиболее
распространенных термо- и реактопластов»
по дисциплине
«Инструментальные методы исследования
в химической технологии»**

Энгельс 2026

**Энгельсский технологический институт (филиал) федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»**

**Методические указания для выполнения
лабораторной работы
«Инфракрасная спектроскопия.
Расшифровка спектров наиболее
распространенных термо- и реактопластов»
по дисциплине
«Инструментальные методы исследования
в химической технологии»
для студентов направлений
18.04.01 – Химическая технология,
профиль «Химическая технология композиционных материалов и покрытий»
очной формы обучения**

Энгельс 2026

1. Теоретические основы ИК-спектроскопии

1.1 Гармонические и ангармонические колебания

ИК-спектр поглощения - уникальное в своем роде физическое свойство. Не существует двух соединений, за исключением оптических изомеров, с различающимися структурами, но одинаковыми ИК-спектрами. В некоторых случаях, таких, как полимеры с близким молекулярным весом, различия могут быть практически не заметны, но они всегда есть. В большинстве случаев ИК-спектр является «отпечатком пальцев» молекулы, который легко отличим от спектров других молекул.

Двухатомную молекулу АВ можно представить в виде двух шариков с массами m_A и m_B , связанных между собой пружиной с равновесным расстоянием r_0 . При смещении шариков А и В из положения равновесия на расстоянии Δr возникает возвращающая сила f , стремящаяся вернуть систему АВ в равновесное положение. С помощью закона Гука можно описать силу f :

$$F = -k\Delta r, \quad (1)$$

$\Delta r = r - r_0$ - изменение длины пружины (связи); k - силовая постоянная пружины (связи).

Движение, происходящее после смещения атомов А и В из положения равновесия называется простым гармоническим колебанием. Потенциальная энергия $V_{\text{гарм.}}$ системы гармонического осциллятора, состоящего из двух атомов, связанных упругой химической связью, определяется следующим выражением:

$$V_{\text{гарм.}} = 1/2 k\Delta r^2, \quad (2)$$

k - силовая постоянная химической связи; Δr - смещение атомов из положения равновесия.

Функция $V(r)$ представляет собой симметричную параболу, которая проходит через точку минимума, соответствующую равновесному межъядерному расстоянию r_0 (рис. 1.2.)

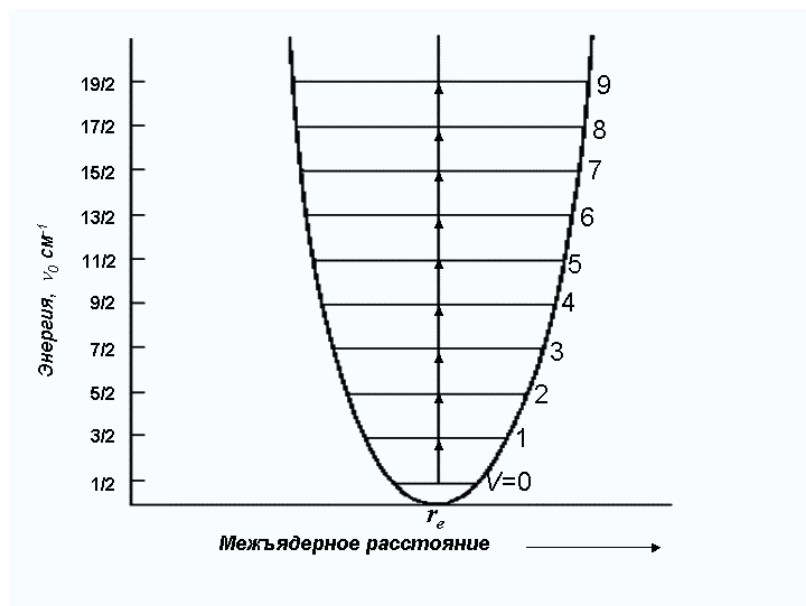


Рис. 1.2. Кривая потенциальной энергии и уровни колебательной энергии гармонического осциллятора

Колебательная энергия гармонического осциллятора $E_{\text{кол}}^{\text{гарм}}$ квантуется по следующему закону:

$$E_{\text{кол}}^{\text{гарм}} = h\nu_0(v + 1/2), \quad (3)$$

h - постоянная Планка; $v = 0, 1, 2, 3 \dots$ - колебательное квантовое число; ν_0 - частота колебаний гармонического осциллятора, которая описывается следующим уравнением:

$$\nu_0 = 1/2\pi (k/M)^{1/2}, \quad (4)$$

k - силовая константа связи; $M = m_A * m_B / (m_A + m_B)$ - приведенная масса двухатомной молекулы АВ.

В результате квантования энергии $E_{\text{кол}}^{\text{гарм}}$ гармонический осциллятор характеризуется набором равноотстоящих энергетических уровней, отличающихся друг от друга на одинаковую величину $h\nu_0$. Правило отбора для перехода между колебательными уровнями гармонического осциллятора следующее:

$$\Delta v = \pm 1. \quad (5)$$

Разрешенными являются только переходы между соседними уровнями. Например, переход между уровнями с $v=0$ и $v=1$ разрешен, а между уровнями с $v=0$ и $v=2$ запрещен. В результате колебательный спектр гармонического осциллятора представляет собой только одну линию с частотой.

В отличие от модели гармонического осциллятора колебания реальных молекул ангармоничны. Потенциальная энергия ангармонического осциллятора $V_{\text{ангарм}}$ описывается функцией Морзе:

$$V_{\text{ангарм}} = D (1 - e^{-a\Delta r})^2, \quad (6)$$

D - энергия диссоциации связи; Δr - смещение атомов из положения равновесия; a - постоянная, определяемая выражением:

$$a = 2\pi\nu_0(M/2D)^{1/2} \quad (7)$$

ν_0 - частота осциллятора; M - приведенная масса; D - энергия диссоциации связи.

Колебательная энергия ангармонического осциллятора $E_{\text{кол}}^{\text{гарм}}$ квантуется согласно закону:

$$E_{\text{кол}}^{\text{анг.ос}} = \hbar\nu_0 \left(\nu + \frac{1}{2} \right) - \frac{\hbar^2 \nu_0^2}{4D} \left(\nu + \frac{1}{2} \right)^2, \quad (8)$$

\hbar - постоянная Планка; $\nu = 0, 1, 2, 3 \dots$ - колебательное квантовое число; ν_0 - частота колебаний гармонического осциллятора; D - энергия диссоциации связи. Из выражения для энергии $E_{\text{кол}}^{\text{анг.ос}}$ следует, что по мере увеличения квантового числа ν колебательные уровни будут постепенно сближаться и в конечном итоге перейдут в континуум энергии при $E_{\text{кол}}^{\text{анг.ос}} = D$ (рис. 1.3.)

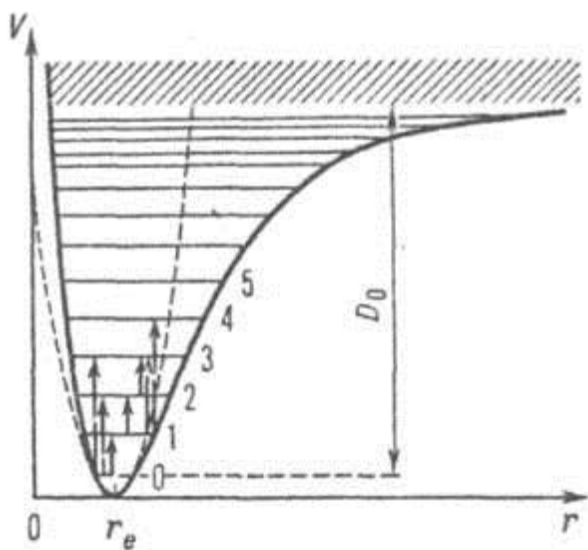


Рис. 1.3. Кривая потенциальной энергии и уровни колебательной энергии ангармонического осциллятора

В случае ангармонического осциллятора (реальная молекула) могут реализоваться переходы не только между соседними колебательными уровнями с $\Delta v = 1$, но и переходы с $\Delta v = 2, 3, \dots$. Это приводит к появлению в колебательном спектре нескольких полос с частотами ν, ν_1, ν_2 и т.д.

Линия (полоса) спектра, отвечающая переходу между колебательными уровнями с $v=0$ и $v=1$ называется основной частотой. Колебательный переход между уровнями с $v=0$ и $v=2$ называется первым обертоном, а между уровнями с $v=0$ и $v=3$ называется вторым обертоном. Учитывая постепенное сближение колебательных уровней ангармонического осциллятора, частота первого обертона ν_1 меньше, чем удвоенная частота основного перехода ν ; а частота второго обертона ν_2 меньше, чем утроенная частота ν .

1.2 Колебания многоатомных молекул

Молекула, состоящая из N атомов, имеет $3N$ степеней свободы. Это число независимых параметров для положения всех атомов молекулы в декартовых координатах (x, y, z). В нелинейной молекуле $3N$ независимых параметров три степени свободы приходится на поступательное движение молекулы как целого и три на вращательное движение молекулы вокруг ее главных осей. Оставшиеся $3N-6$ степеней свободы представляют собой так называемые нормальные колебания - независимые повторяющиеся сами по себе движения молекулы.

Для линейной молекулы характерно $3N-5$ нормальных колебаний, так как линейные молекулы имеют три поступательных и две вращательных степени свободы молекулы как целого.

Полное колебательное движение молекулы можно представить в виде комбинации нормальных колебаний. В зависимости от строения органической молекулы в ИК-спектрах могут проявляться либо все нормальные колебания, либо часть из них.

Проявляющимися в ИК-спектрах являются только те колебания, которые сопровождаются изменением энергетического дипольного момента μ связи. Основное колебание активно в ИК-спектре, если первая производная дипольного момента по нормальной координате r отлична от 0, то есть:

$$\boxed{d\mu/dr \neq 0} \quad (9)$$

Поэтому обычно в ИК-спектрах полимеров проявляются с высокой интенсивностью колебания полярных связей C-O, C=O, C-N, N=O, S=O и т.п.

Число полос поглощения в ИК-спектрах может отличаться от числа нормальных колебаний молекулы вследствие появления дополнительных полос: обертонов, составных частот, линий, обусловленных резонансом Ферми.

В ИК-спектроскопии очень важным является понятие характеристичности нормальных колебаний, то есть соответствия их определенным группам атомов.

Характеристичным по частоте является нормальное колебание атомной группировки, частота которого сохраняется постоянной для ряда структурно родственных молекул, содержащих данную группировку. Характеристичность по частоте проявляют колебания многих групп в органических соединениях, например C-H, C=C, O-H, C-N и др. Именно характеристичность колебаний позволяет использовать ИК-спектроскопию для идентификации соединений.

Нормальные колебания подразделяются на валентные и деформационные (рис. 1.4). В случае валентных колебаний происходит изменение длины связи вдоль ее оси, при этом различаются валентные симметричные и ассиметричные колебания. Деформационные колебания сопровождаются изменением угла между связями. И различают ножничные, маятниковые, веерные и крутильные деформационные колебания.

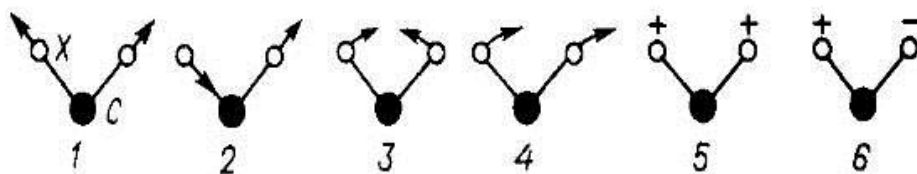


Рис. 1.4. Колебания CX_2 -групп. Валентные: 1 - симметричные (ν_s); 2 - асимметричные (ν_{as}). Деформационные: 3 - ножничные (δ); 4 - маятниковые (γ_r); 5 - веерные (γ_w); 6 - крутильные (γ_t)

Если колебание в молекуле происходит в направлении валентной связи, соединяющей атомы, то оно называется валентным.

1.3 Инфракрасные спектры полимеров

Полимер состоит из макромолекул, которые построены из целого числа относительно небольших повторяющихся единиц. Молекулярный вес полимера, как правило, составляет от 10^3 до 10^6 а.е.

Содержание в полимерной молекуле множества атомов приводит к значительному количеству нормальных колебаний, поэтому следовало ожидать сложного вида ИК-спектра полимера. Однако для большинства полимеров характерны сравнительно простые спектры, что обусловлено следующими причинами. В реальных полимерах каждая повторяющаяся структурная единица (элементарная ячейка) характеризуется определенными нормальными колебаниями, которые могут изменяться в результате взаимодействия между собой соседних структурных единиц. Если взаимодействие мало или вообще отсутствует, их нормальные колебания имеют близкие частоты и проявляются в спектре в виде одной полосы поглощения (вырожденные колебания). Сильное взаимодействие приводит к изменению частот нормальных колебаний структурных единиц, что выражается в расщеплении полосы поглощения в

спектре. В спектре полимерной цепи, состоящей из N связанных повторяющихся единиц, каждая полоса расщепится на N компонентов. Величина расщепления полосы зависит от силы взаимодействия структурных единиц. Взаимодействие этих единиц в случае характеристических колебаний отдельных функциональных групп обычно невелико, но оказывается значительны для колебания скелета. В результате усреднения близких частот колебаний отдельные пики в полосах поглощения исчезают, и спектр становится более простым.

Другая причина, приводящая к упрощению спектров, заключается в существовании строгих правил отбора, которые определяют активность молекулярных колебаний. По правилам отбора в инфракрасной области активны только те нормальные колебания, которые связаны с изменением электрического момента системы, причем правила отбора зависят не от силовых постоянных, а только от типа симметрии. В молекулах, не обладающих симметрией, все нормальные колебания активны.

1.4 Аппаратура ИК-спектроскопии

Вся ИК-область условно делится на ближнюю в диапазоне волновых чисел $4000\text{--}12500\text{ см}^{-1}$, в которой наблюдаются электронные и колебательные переходы; основную и среднюю от 625 до 4000 см^{-1} , связанную в основном с колебаниями молекул; и дальнюю от 50 до 625 см^{-1} , в которой наблюдаются вращательные переходы, колебания в тяжелых молекулах, в ионных и молекулярных кристаллах, некоторые электронные переходы в твердых телах, крутильные и скелетно-деформационные колебания в сложных молекулах, например, в биополимерах. В настоящее время наибольшее развитие получила спектроскопия в средней ИК-области, в которой работает большинство серийных приборов.

Общая конструкция ИК-спектрометра включает: источник излучения, диспергирующую систему (монокроматор) и регистрирующий элемент (детектор). Специфика ИК-излучения приводит к особенностям в устройстве каждого элемента.

Область спектра	ν , см^{-1}	λ , мкм	Применение
Ближняя	12500-4000	0,8-2,5	Качественный и количественный анализ на Н-содержащие функциональные группы, множество сорбентов основных частот из средней ИК-области.
Средняя	4000-625	2,5-16,7	Колебательная или основная ИК-область. Типичные линии поглощения функциональных групп, главным образом в диапазоне 1400-4000 см^{-1} , а диапазон 600-1400 называют область «отпечатков пальцев».
Дальняя	625-30	16,7-330	Область колебаний с малой энергией, в особенности у неорганических и металлоорганических соединений. Исследование скелетных и крутильных колебаний, а также колебаний решетки твердых тел.

Источник излучения в ИК-спектрометре должны перекрывать большой интервал длин волн. Из них наиболее распространены стержни из карбида кремния (глобар) или из оксидов редкоземельных элементов (штифт Нернста), нагреваемые током до 1500 и 800 С. Кривая интенсивности излучения этих источников имеет вид кривой излучения абсолютно черного тела. Они дают мощное ИК-излучение, но преимущественно в ближней ИК-области и быстро падающее с увеличением длины волны (это изменение мощности компенсируется программным раскрытием входной щели прибора). В длинноволновой части ИК-спектра применяют ртутно-кварцевые лампы высокого давления.

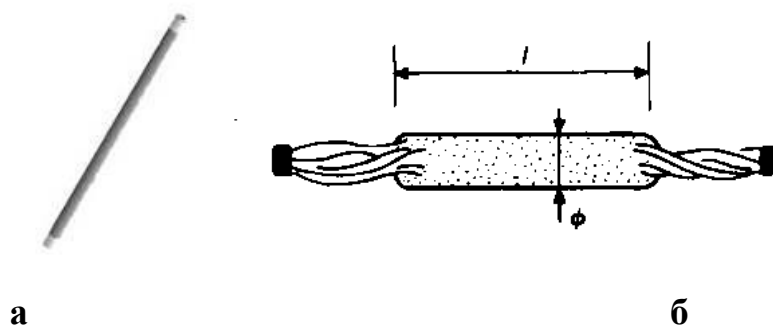


Рис. 1.5. Стержень из карбида кремния (а) (глобар) и Штифт Нернст



Рис. 1.6. Ртутно-кварцевые лампы высокого давления

В монохроматоре диспергирующими элементами могут служить призмы в ИК-области материалов с подходящей дисперсией или дифракционные решетки. Призмы из стекла или кварца неприменимы, поскольку не пропускают ИК-излучение, и обычно используют призмы, изготовленные из некоторых солей. От призм требуется достаточно большая диспергирующая способность, но она падает с уменьшением длины волны. Так призма из NaCl обеспечивает точность около 2 см^{-1} в области 650 см^{-1} и около 30 см^{-1} в области 3000 см^{-1} . Поэтому обычно используют 3-4 сменных призм из монокристаллов LiF, NaCl, KBr. Дисперсия материала призмы обычно сильно меняется с температурой, поэтому необходимо термостатирование прибора. Солевую оптику следует беречь от повышенной влажности.

В настоящее время все чаще в качестве диспергирующих элементов применяют дифракционные решетки. У них больше дисперсия, которая мало

зависит от длины волны и почти не зависит от температуры, но решетки могут давать наложение спектров высших порядков, что требует использования в приборе хороших спектральных фильтров.

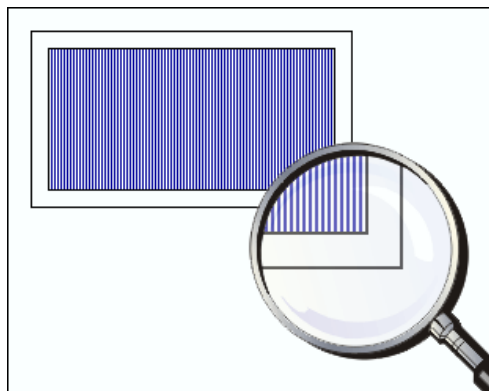


Рис. 1.7. Дифракционная решетка

Детектирование ИК-излучения основано преимущественно на тепловом его действии. Для средней ИК-области в качестве приемников излучения применяют чувствительные термопары (термостолбики) и термометры сопротивления (болометры), покрытые чернью. Используют также пневматические приемники (ячейка Голея), в которых газ в зачерненной камере с гибкой стенкой меняет давление под действием излучения. В длинноволновой области применяют также другую группу приемников: фотонные приемники с фотопроводимостью.



Рис. 1.8. Термопары

Среди ИК-спектрометров наиболее распространены диспергирующие сканирующие приборы, в которых спектры последовательно сканируются и регистрируются с помощью одноканального приемника. По схеме освещения такие приборы бывают однолучевыми и двухлучевыми. В однолучевых спектрометрах для освещения щели используют одно сферическое зеркало.

Теперь чаще используют двухлучевую систему, которая позволяет выравнять фон, то есть линию полного пропускания, и компенсировать как поглощение атмосферными H_2O и CO_2 так и ослабление пучков окнами кюветы и растворителем. Упрощенная блок-схема двухлучевого сканирующего ИК-спектрометра с дифракционной решеткой представлена на рис. 1.9.

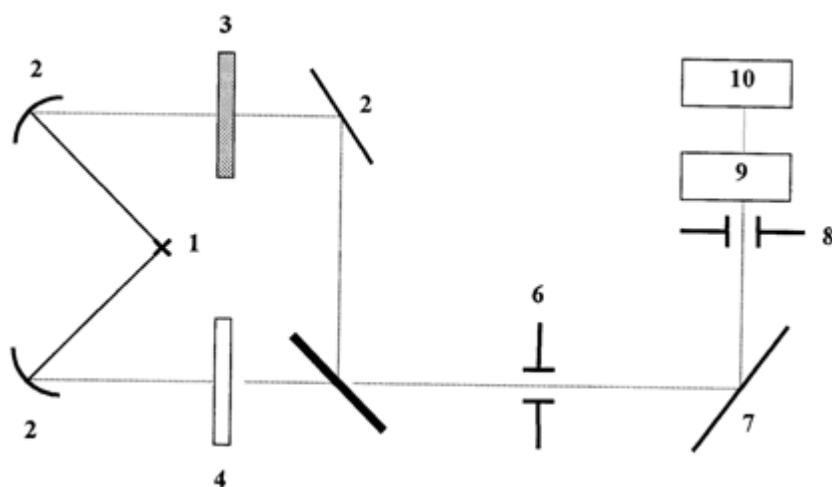


Рис. 1.9. Схема инфракрасного двухлучевого спектрофотометра

ИК-излучение от источника 1 делится на два пучка системой зеркал 2. Рабочий пучок проходит через кювету с образцом 3, а пучок сравнения - через компенсатор фона 4. С помощью дискондулятора 5 пучки попеременно направляются на входную щель монохроматора 6 и через нее - на дифракционную решетку 7, которая разлагает излучение в спектр и направляет его на выходную щель 8. Монохроматическое изображение щели попадает на приемник - висмутовый болометр 9. В отсутствии исследуемого образца

интенсивности рабочего пучка и пучка сравнения одинаковы, в приемнике сигналы от этих пучков вычитаются; на выходе сигнал отсутствует. При поглощении рабочего пучка исследуемым веществом на приемник попадают лучи различной интенсивности, в результате чего в приемнике возникает переменный сигнал. После усиления и преобразования сигнала приводится в движение перо самописца 10. При медленном повороте решетки щель 8 последовательно вырезает узкие участки спектра, и на ленте самописца вычерчивается кривая зависимости пропускания от длины волны.

Серийные одно- и двухлучевые спектрофотометры, используемые для изучения низкомолекулярных соединений, имеют достаточную разрешающую способность для исследования большинства полимеров. Однако для работы в дальней области спектра, которая в исследовании полимеров играет очень важную роль, необходимы специальные вакуумные спектрофотометры с дифракционными решетками.

Современные спектрометры позволяют регистрировать ИК-спектры газообразных, жидких и твердых образцов. Для получения ИК-спектра полимера или органического соединения необходимо всего от 1 до 10 мг вещества.



Рис. 1.10. ИК-Фурье спектрометр Nicolet iS10

В большинстве случаев спектры соединений регистрируют либо в виде растворов веществ в хлороформе, четыреххлористом углероде, сероуглероде,

либо в виде твердых прозрачных таблеток, полученных прессованием под давлением мелко размолотой смеси вещества с бромидом калия. Иногда использую метод съемки ИК-спектра вещества в виде мелко растертой суспензии в вазелиновом или минеральном масле.

В случае регистрации ИК-спектра соединений в растворах или суспензиях необходимо вычитать полосы поглощения растворителей или суспензионной среды.

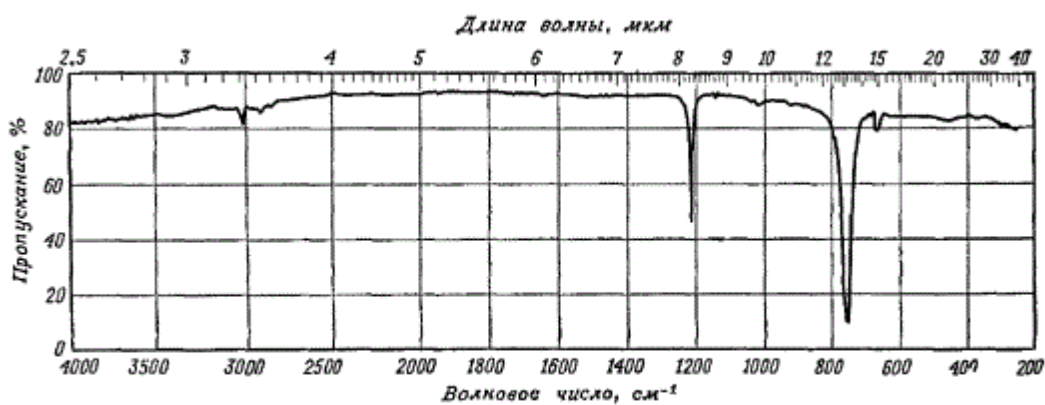


Рис. 1.11. ИК-спектр хлороформа

2. Аналитическое применение метода ИК-спектроскопии

2.1 Определение чистоты вещества

Считается, что ИК-спектр малопригоден для определения чистоты вещества, если заранее неизвестно, какие в нем могут быть примеси. Значительные количества примесей могут остаться незамеченными, если они имеют малоинтенсивные полосы поглощения, которые к тому же могут маскироваться поглощением основного вещества или растворителя. Однако, если примесь сильно поглощает в области, прозрачной для основного компонента, ИК-спектроскопия может оказаться очень чувствительным методом обнаружения и количественного определения таких примесей. Чувствительность при определении примесей может быть повышена за счет увеличения толщины слоя вещества и использования дифференциального метода, при котором в основную кювету помещают исследуемый образец с примесью, а в кювету сравнения - эталонное вещество, не содержащие примеси.

Однако по виду спектра можно обнаружить в продукте присутствие примесей: чистые соединения дают узкие, хорошо разрешенные пики, а наличие в образце нескольких веществ приводит к широким плохо разрешенным полосам из-за слияния близко расположенных линий индивидуальных соединений.

2.2 Изучение состава и структуры полимеров

Задачей качественного анализа полимеров по ИК-спектрам является определение хотя бы основных компонентов, когда их количество и концентрация в смеси неизвестны.

Необходимое условие применимости метода - наличие взаимно

неперекрывающихся участков в спектрах веществ, образующих смесь. Для образца полимера, не содержащего примесей, методом ИКС можно установить с высокой степенью надежности не только основную структуру полимерной цепи, но даже незначительные ее детали, обусловленные способом получения или переработки. Например, индивидуальные спектры пластификаторов, антиоксидантов и других добавок используют для исключения из спектра полос поглощения, не относящихся к полимеру.

Наряду с качественным определением структуры молекул, ИК-спектроскопия дает возможность получать количественные данные о содержании тех или иных групп атомов, связей и их сочетание в молекуле. После определения количественного содержания молекулярных структур, входящих в полимер, находят его состав. Однако по сравнению с другими спектроскопическими методами (электронной и радиоспектроскопией) ИКС обладает в ряде случаев меньшей чувствительностью и точностью, что исключает возможность определения невысокого содержания функциональных групп.

Количественный анализ состава полимеров основан на том, что каждая из анализируемых мономерных групп имеет свое специфическое химическое строение, а следовательно, и свои характерные только для него полосы поглощения. Все вещества, кроме оптических изомеров, имеют различные ИК-спектры. Которые часто называют «отпечатками пальцев» молекулы. Метод ИКС почти универсален по своим возможностям; образцы могут быть жидкими, твердыми, газообразными, бесцветными или окрашенными. Наиболее достоверная информация может быть получена для высокомолекулярных образцов регулярной структуры с линейной конфигурацией цепи, когда вклад концевых групп, аномальных звеньев и нерегулярностей других типов минимален.

В тех случаях когда не ставится задача установления взаимного

расположения атомов в молекуле, а требуется определить лишь количественного содержания соответствующих групп, вопрос сводится к выбору аналитической полосы поглощения, измерению ее интенсивности и сравнению последней с интенсивностью той же полосы в эталонном соединении. В качестве аналитической выбирается по возможности изолированная полоса поглощения, наличие корой в спектре обусловлено присутствием в исследуемом образце искомого сочетания атомов.

2.3 Определение молекулярной неоднородности полимера

При получении полимеров, переработке, прогнозировании их работоспособности в изделиях необходим контроль за строением полимерных молекул, который в большинстве случаев может быть решен методами спектроскопии. Например, по ИК спектрам можно судить об относительном содержании того или иного типа ненасыщенных групп в полиолефинах, полученных разными методами полимеризации, о разветвленности их макромолекул, о строении полимерной цепи. Так, различие в строении молекул 1,4 - транс- и 1,4 - цис-полибутадиенов находит отражение в ИК спектре (рис. 3.6, 3.7), и позволяет получить информацию о структуре каучука.

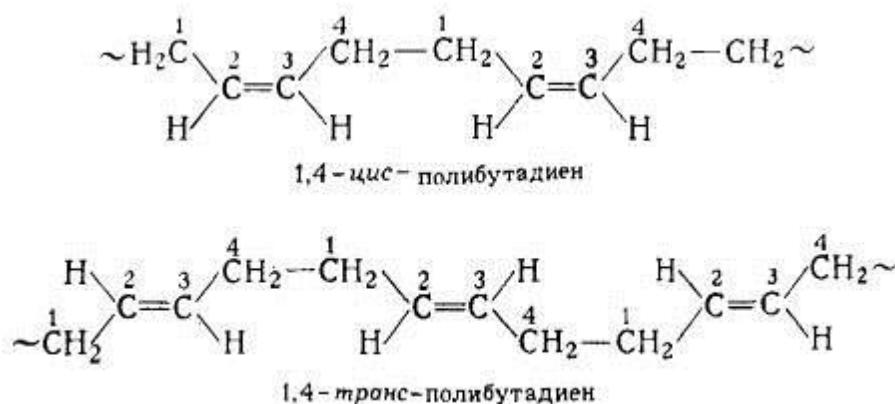


Рис. 3.6. Цис- и транс-изомеры 1,4 - полибутадиена

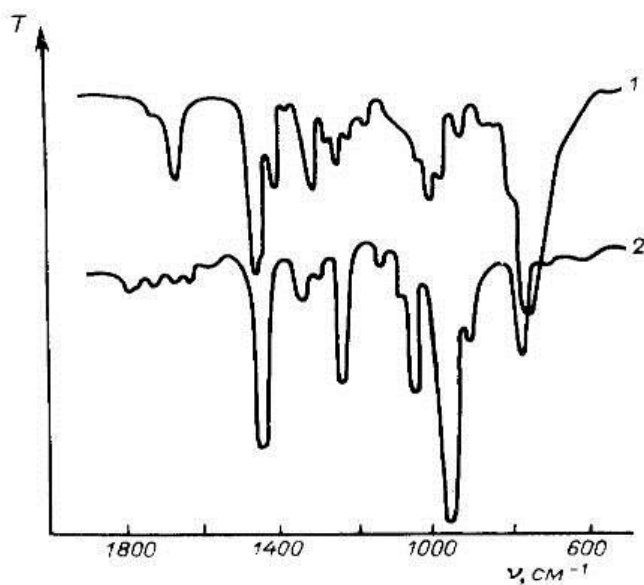


Рис. 3.7. ИК спектры поглощения полибутадиена с преобладанием 1,4 - цис - (1) и 1,4 - транс-изомера (2)

2.4 Концевые группы.

Определение среднечисленной молекулярной массы

Метод ИК-спектроскопии в большинстве случаев позволяет идентифицировать концевые группы, что служит основой для определения среднечисленной молекулярной массы \bar{M}_n . Определение \bar{M}_n низкомолекулярных полимеров методом ИК-спектроскопии по количеству концевых групп часто оказывается более рациональным, чем использование других методов, из-за меньших затрат времени, большей точности, простоты. При этом должно выполняться условие, что полимер линейен, а концевые группы имеют интенсивную изолированную полосу поглощения. Например, определение \bar{M}_n полиметилсилоксанов по полосе 2135 см^{-1} валентного колебания связи Si-H в концевой группе - Si(CH₃)₂H.

Образцы исследуемых полимеров растворяли в тетрахлорметане и строили зависимость оптической плотности полосы 2135 см^{-1} от массовой

концентрации раствора полимера (в г/л); стандартным образцом служил 1,1,3,3, - тетраметилсилоксан, имеющий среднечисленную молекулярную массу 134 (рис. 3.8).

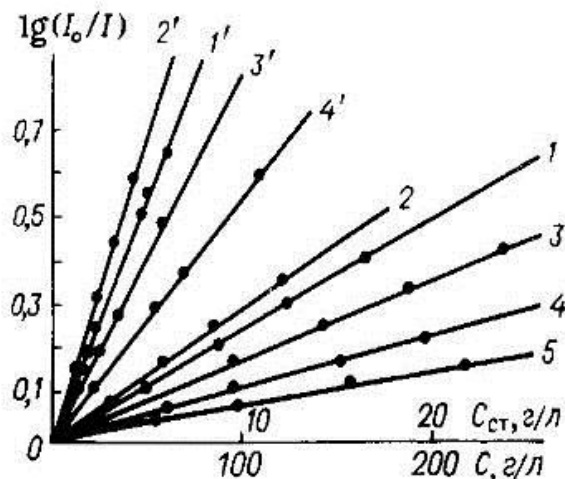


Рис. 3.8. Зависимость оптической плотности полосы связи Si-H (2135 см^{-1}) стандартных (1,1') и исследуемых образцов (2-5,2'-4') от массовой концентрации раствора полимера в тетрахлорметане. Толщина слоя (в мм): 0,1 (1-5) и 0,5 (1'-4')

Тангенс угла наклона S каждой из прямых пропорционален удельному показателю поглощения для соответствующего образца. Произведение $S \bar{M}_n$ дает значение оптической плотности в расчете на один моль в литре раствора. Предполагается, что для стандартного образца и исследуемых полимеров эти значения равны друг другу (при одной и той же толщине поглощающего слоя). Поэтому можно записать:

$$S_{\text{ст}} M_{n \text{ ст}} = S M_n \quad (10)$$

Таким образом, определив наклон прямых $S_{\text{ст}}$ и S , и, зная молекулярную массу стандартного образца, рассчитываем \bar{M}_n испытуемого полимера:

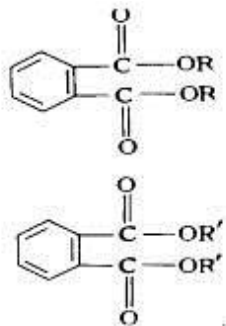
$$M_n = S_{\text{ст}} M_{n \text{ ст}} / S \quad (11)$$

2.5 Анализ модифицирующих добавок в полимерных материалах

Практически во все полимеры на стадии переработки, а иногда и в процессе полимеризации вводят низкомолекулярные соединения (стабилизаторы, пластификаторы, наполнители, антистатики и др.). Они должны хорошо совмещаться с полимером, равномерно распределяясь в его массе. Назначение пластификаторов - модификация свойств полимеров. Введением пластифицирующих добавок достигается пластичность полимерного материала, эластичность, увеличивается его морозостойкость или огнестойкость.

Обычно анализ пластификаторов проводят методом экстрагирования с последующим расчетом содержания добавки по массе остатка выпаренного раствора. Между тем, для определения пластификаторов методы молекулярной спектроскопии также оказываются полезными. Они могут служить дополнением к анализу экстракта, с их помощью можно осуществлять контроль за полнотой экстракции или анализировать раствор пластифицированного полимера.

В качестве пластификаторов используют низкомолекулярные органические соединения, главным образом сложные эфиры (например, фталаты).



Фталаты используют для пластификации поливинилхлорида, нитро- и этилцеллюлозы и других полимеров. В ИК-спектрах фталатов наблюдаются интенсивные полосы поглощения валентных колебаний связей C=O и C-O сложноэфирной группы, а в УФ-спектрах полосы бензольного поглощения.

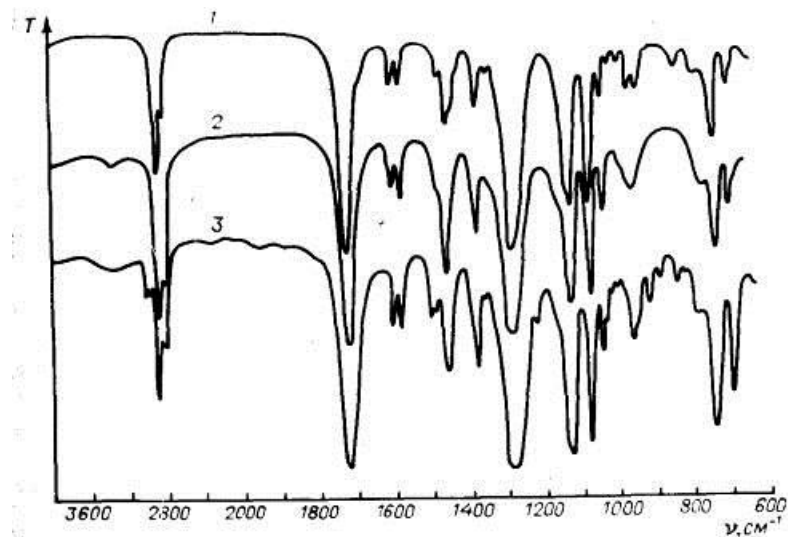


Рис. 3.9. ИК-спектры поглощения дибутилфталата (1), ди-2-этилгексилфталата (2), бензилбутилфталата (3)

На рис. 3.9 представлены ИК-спектры поглощения трех пластификаторов, имеющих наибольшее применение: дибутилфталата, ди-2-этилгексилфталата и бензилбутилфталата. В общих чертах спектры очень близки. Основные колебания, связанные со сложноэфирной группой, имеют идентичные полосы поглощения (1725, 1280, 1120 см⁻¹).

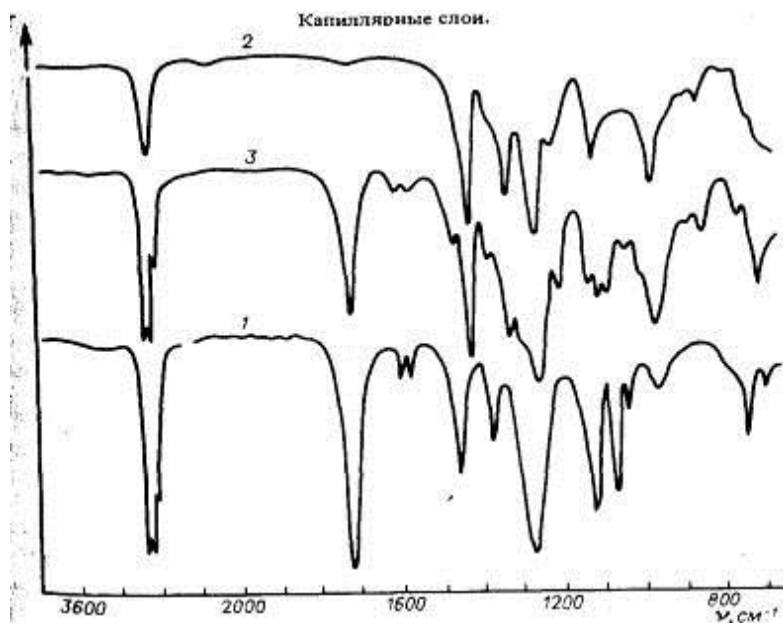


Рис. 3.10. ИК-спектры поглощения дидецилфталата (1), поливинилхлорида, непластифицированного (2) и пластифицированного дидецилфталатом (3). 1 - капиллярный слой; толщина пленки (в мкм): 2 - 50; 3 - 30

Список литературы

1. Аверко-Антонович И.Ю. Методы исследования структуры и свойств полимеров: учебное пособие / И.Ю. Аверко-Антонович, Р.Т. Бикмуллин. – КГТУ: Казань. - 2002. - 604 с.
2. Углянская В.А. Инфракрасная спектроскопия ионообменных материалов / В.А. Углянская, Г.А. Чикин, В.Ф. Селеменев, Г.А. Завьялова. - Воронеж: Изд-во ВГУ. - 1989. - 208 с.
3. Тарутина Л.И. Спектральный анализ полимеров / Л.И. Тарутина, Ф.О. Позднякова. - Л.: Химия. - 1986. - 248 с.
4. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия / А. Смит. - М.: Мир. - 1982. - 328 с.
5. Замышляева О.Г. Методы исследования современных полимерных материалов: учебно-методическое пособие / О.Г. Замышляева. - Нижний Новгород, ННГУ, 2012. - 90 с.
6. Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии / Ю.А.Пентин, Л.В. Вилков. - М.: Мир. - 2003. - 367 с.