

Список литературы

1. Бушук Б. А., Корда И. М., Ступак А. П., Рубинов А. И. // ЖПС. 1978. Т. 29. № 5. С. 807.
2. Фап В., Gustafson Т. К. // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 28. № 4. P. 207.
3. Сох А. J., Scott G. W. // Rev. Scient. Instr. 1984. V. 55. № 3. P. 358.
4. Гулис И. М., Саечников К. А., Цвирко В. А. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. Физ. Мат. Мех. 1987. № 3. С. 26.
5. Nair L. G. // Prog. Quant. Electr. 1982. V. 7. № 3, 4. P. 153.
6. Гулис И. М., Саечников К. А., Комяк А. И., Цвирко В. А. // ЖПС. 1987. Т. 47. № 3. С. 489.
7. Саечников К. А., Гулис И. М. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1: Физ. Мат. Мех. 1989. № 1. С. 3.
8. Гиббс Х. Оптическая бистабильность: Управление светом с помощью свет. М., 1988.
9. Ersen A., Krishnakumar S., Ozgur V. et al. // Appl. Opt. 1997. V. 31. № 20. P. 3950.
10. Yamataka Y., Joshihara K., Ogura I. et al. // Appl. Opt. 1997. V. 31. P. 4676.

Поступила в редакцию 28.12.92.

УДК 535.338.42

И. П. ЗЯТЬКОВ, Г. А. ПИЦЕВИЧ,
Н. Д. КНЯЖЕВИЧ, В. И. ГОГОЛИНСКИЙ

АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ПЕРОКСИДОВ МЕТОДАМИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Characteristic bands and lines in IR and Raman spectra were indicated for five classes of organic peroxides. The scheme of spectral data analysis was proposed for organic peroxide

Пероксиды играют важную роль не только в процессе формирования полимерных молекул, где выступают в качестве инициаторов реакции полимеризации, но и при их старении, фотоокислительной деструкции [1]. В обоих случаях актуальным является вопрос качественного анализа органических пероксидов в полимерных средах. Разработанные же на сегодняшний день химические методы анализа не обладают свойством универсальности по отношению к пероксидам различных классов, различным типам полимерной матрицы [2]. Количественный анализ карбонилсодержащих пероксидов может быть проведен при помощи ИК спектроскопии [3]. Спектральная идентификация гидропероксидов пероксидов алкилов возможна лишь по полосам ИК поглощения в спектральном интервале $700 - 1300 \text{ см}^{-1}$, обусловленным колебаниями с участием O—O связи. В этом же интервале частот с большой относительной интенсивностью поглощают практически все органические соединения, ввиду чего использование ИК спектроскопии для количественного анализа пероксидов этих классов практически невозможно. В работах [2, 4, 5] указывается, что эффективным методом идентификации органических пероксидов является спектроскопия КР. Однако до настоящего времени не установлены закономерности проявления $\nu_{\text{O-O}}$ для каждого класса пероксидов, недостаточно строго обосновано отнесение полос и линий в ИК и КР спектрах.

Т а б л и ц а

Силовое поле пероксидного остова

Силовая константа	Значение $\times 10^6 \text{ см}^{-2}$	Силовая константа	Значение $\times 10^6 \text{ см}^{-2}$	Силовая константа	Значение $\times 10^6 \text{ см}^{-2}$
$K_{\text{O-O}}$	5,5	$K_{\text{R C-O}}$	0,5	$K_{\text{OC-O/CO}}$	0,9
$K_{\text{C-O}}$	8,2	$K_{\text{OO/CO}}$	0,2	$K_{\text{OC-O/C-O}}$	0,6
$K_{\text{C=O}}$	17,5	$K_{\text{C-O/CO}}$	1,2	$K_{\text{C-O/C-O}}$	0,5
K_{COO}	1,7	$K_{\text{C-O/CC}}$	0,7	$K_{\text{COO/COO}}$	0,25
$K_{\text{OC=O}}$	2,2	$K_{\text{COO/OO}}$	0,7		
K_{COO}	0,1	$K_{\text{COO/CO}}$	0,7		

В работе получены и интерпретированы ИК и КР спектры ряда пероксикислот, пероксиэфиров, гидропероксидов, алкилпероксидов и диацильных пероксидов. Условия регистрации спектров описаны в работе [6]. В общем силовом поле был выполнен расчет спектров нормальных колебаний для следующих представителей исследуемых классов пероксидов: $(\text{CH}_3)_3\text{COOH}$, $((\text{CH}_3)_3\text{CO})_2$, $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OON}$, $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{CH}_3)_3$, $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OO}(\text{O})\text{CCCH}_3$ и некоторых дейтероаналогов этих соединений. Силовые постоянные алифатических фрагментов взяты из работы [7], начальное силовое поле пероксидного остова составлялось по данным работ [8, 9], а его окончательный вариант представлен в табл. 1. Геометрические параметры для первых трех молекул взяты из работ [9, 10], а для остальных конформация оценена в рамках квантовохимического метода MNDO [11]. Для экспериментального определения полос и линий в ИК и КР спектрах исследуемых пероксидов, связанных с колебаниями О–О связи, привлекались колебательные спектры пероксидных аналогов: спиртов, эфиров, кислот, сложных эфиров и ангидридов. Это позволило провести интерпретацию ИК и КР спектров пероксидов различных классов, а также предложить рекомендации по использованию колебательной спектроскопии для анализа этих соединений в различных средах.

Таблица 2

Проявление ν_{OO} в ИК и КР спектрах гидропероксидов

Соединение	$\nu_{\text{OO}}^{\text{эксп}}$ (см^{-1})	$I_{\text{КР}}^{\text{относ}}/I_{\text{ИК}}^{\text{относ}}$	ρ	$\nu_{\text{OO}}^{\text{расчет}}$	РПЭ
$(\text{CH}_3)_3\text{COOH}$	843	15/40	0,5	828	$68\nu_{\text{OO}}13\nu_{\text{CC}}8\nu_{\text{CO}}$
$(\text{CD}_3)_3\text{COOH}$	875	210/60	0,25	888	$65\nu_{\text{OO}}11\delta_{\text{CCD}}5\nu_{\text{CC}}$
$\text{HC}=\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{COOH}$	842	28/90	0,3		
$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}_3)_2\text{COOH}$	843	30/72	0,4		
$\text{Ph}(\text{CH}_3)_2\text{COOH}$	843	38/67	0,4		

Гидропероксиды. Получены колебательные спектры следующих гидропероксидов: $(\text{CH}_3)_3\text{COOH}$ (I), $(\text{CD}_3)_3\text{COOH}$ (II), $\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{COOH}$ (III), $\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}_3)_2\text{COOH}$ (IV), $\text{Ph}(\text{CH}_3)_2\text{COOH}$ (V). Анализ ИК спектров гидропероксидов в газовой фазе показал, что для свободных молекул поглощение гидроксильной группы наблюдается около 3600 см^{-1} . Характерным признаком наличия в молекулах третичного фрагмента является присутствие в спектре КР интенсивной сильно поляризованной линии ($\rho = 0,01$) в спектральном интервале $700-770\text{ см}^{-1}$. Она имеет аналог в спектре КР соответствующих спиртов. Согласно данным расчета нормальных колебаний, выполненного для соединений I и II, эта линия на $70-75\%$ обусловлена симметричными валентными колебаниями С–С связей. Вклад деформационных колебаний О–О связи наиболее существен на двух частотах в интервалах $280-350$ и $500-560\text{ см}^{-1}$. Линии, обусловленные этими колебаниями, достаточно интенсивны, поляризованы ($\rho = 0,1$) и не имеют аналогов в спектрах КР соответствующих спиртов. Однако характеристичность их по частоте низка. К валентным колебаниям пероксидной группы в случае гидропероксидов I, III, V следует отнести линию в спектральном интервале $835-845\text{ см}^{-1}$, имеющую аналог средней интенсивности в спектре ИК поглощения (табл. 2). Указанная линия отсутствует в ИК и КР спектрах спиртовых аналогов пероксидов. Поскольку для соединений I, III–V значение частоты колебания не меняется, это валентное колебание пероксидной связи можно считать характеристичным для третичных гидропероксидов. Согласно расчету, вклад $\nu_{\text{O-O}}$ в распределение потенциальной энергии (РПЭ) этого колебания для соединения I достигает 70% . Незначительный вклад (до 10%) $\nu_{\text{O-O}}$ имеется в РПЭ колебания 880 см^{-1} , где основной вклад обеспечивают валентные и деформационные колебания С–С связей. Из результатов расчета колебательного спектра соединения II следует увеличение частоты колебания, обусловленного пероксидной связью. Это вызвано существенным различием форм колебаний с частотами 848 и

875 см^{-1} в молекулах I и II. Сравнение спектров соединений $(\text{CD}_3)_3\text{COOI}$ и $(\text{CD}_3)_3\text{COH}$ позволяет отнести к $\nu_{\text{O-O}}$ в соединении II линию 875 см^{-1} , что подтверждают результаты расчета.

Алкилпероксиды. Получены колебательные спектры следующих соединений: $((\text{CH}_3)_3\text{CO})_2$ (VI), $(\text{CD}_3)_3\text{CO}_2$ (VII), $((\text{HC}=\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CO})_2$ (VIII), $(\text{Ph}(\text{CH}_3)_2\text{CO})_2$ (IX). В образце (VII) оставалось до 30 % эфира: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}(\text{CH}_3)_3$, в среде которого проводился синтез. Удаление эфира затруднено близостью температур кипения пероксида и эфира.

Для первичных алкильных пероксидов, имеющих симметрию молекулярной геометрии, близкую к C_2 , характерно проявление валентного колебания O-O связи с большей относительной интенсивностью в спектре КР, чем в спектре ИК поглощения. Для пероксида метила $\nu_{\text{O-O}}$ неактивно в ИК спектре [5]. В третичных алкильных пероксидах симметрия которых близка к C_{2h} за счет стерического отталкивания алкильных заместителей, для большинства колебаний выполняется принцип альтернативного запрета. Поэтому для этих соединений более характеристическим является спектр КР, а согласно данным расчета нормальных колебаний, выполненного для соединений VI и VII, наиболее характеристическим для третичных алкильных пероксидов является колебание, обуславливающее линию 860 см^{-1} в спектре КР пероксида VI. Эта линия отсутствует в спектре КР ангидрида. По данным расчета вклад $\nu_{\text{O-O}}$ в распределение потенциальной энергии на частоте 860 см^{-1} достигает 57 %, кроме того, 20 % обеспечивает вклад $\delta_{\text{C-O-O}}$. Следовательно, линия 860 см^{-1} на 77 % обусловлена колебаниями с участием O-O связи, 10 %-й вклад $\nu_{\text{O-O}}$ имеется также на частоте 905 см^{-1} , в то время как основной вклад (45 %) обеспечивает $\nu_{\text{C-O}}$. Как следует из данных табл. 3, для соединений VI, VIII, IX линия 860 см^{-1} практически не испытывает частотного сдвига. Значение частоты $\nu_{\text{O-O}}$ в молекуле соединения VII больше, чем в молекуле соединения VI, что, как и в случае гидропероксидов, связано с существенным изменением формы колебания. Вторая линия (905 см^{-1}) для исследуемых соединений проявляется в интервале 900–910 см^{-1} . Значения ρ для них составляют соответственно 0,3 и 0,1. Менее характеристичны по частоте, но весьма характеристичны по интенсивности линии, обусловленные колебаниями с учетом $\delta_{\text{C-O-O}}$ – 325 $\pm$ 20 и 525 $\pm$ 15 см^{-1} . Несмотря на это, они также могут быть использованы в аналитических целях. Как и для третичных гидропероксидов, в случае третичных алкилпероксидов характерной является линия 740 $\pm$ 10 см^{-1} , обусловленная симметричными валентными колебаниями C-S связей. Для первичных алкилпероксидов суммарный вклад O-O связи в РПЭ может быть существенно ниже, что ведет к снижению его характеристичности и может служить объяснением низкого значения $\nu_{\text{O-O}}$ – 779 см^{-1} для пероксида метила.

Таблица 3

Проявление $\nu_{\text{O-O}}$ в ИК и КР спектрах алкильных пероксидов

Соединение	$\nu_{\text{O-O}}^{\text{эксп}}$ (см^{-1})	$\frac{I_{\text{КР}}}{I_{\text{ИК}}}$	ρ	$\nu_{\text{O-O}}^{\text{расчет}}$	РПЭ
$(\text{CH}_3)_3\text{COOC}(\text{CH}_3)_3$	862	90/0	0,25	834	57 $\nu_{\text{O-O}}$ 18 δ_{OOC} 14 ν_{CC}
$(\text{CD}_3)_3\text{COOC}(\text{CD}_3)_3$	875	60/0	0,3	916	62 $\nu_{\text{O-O}}$ 17 δ_{CCD} 8 ν_{CC}
$(\text{HC}=\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CO})_2$	861	40/0	0,3		
$(\text{Ph}(\text{CH}_3)_2\text{CO})_2$	860	30/0	0,36		

Пероксикислоты. Получены ИК и Кр спектры следующих пероксикислот: $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOH}$ (X), $\text{CD}_3\text{C}(\text{O})\text{OOH}$ (XI), $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OOH}$ (XII), $\text{PhC}(\text{O})\text{OOH}$ (XIII). Пероксикислоты в жидкой и газовой фазах образуют внутримолекулярную водородную связь, что обуславливает существование симметрии C_s у пероксидной цепочки. Благодаря этому валентное колебание гидроксильной группы (3300 см^{-1}) весьма характеристично по частоте для этих соединений. Проявляется оно с большой относительной интенсивностью в спектре ИК поглощения. Как в ИК, так и

в КР спектрах характеристичным является также валентное колебание карбонильной группы – $1740 \pm 7 \text{ см}^{-1}$, вклад которой в РПЭ, согласно расчету, выполненному для молекул соединений X и XI, составляет 76 %. Валентное колебание O – O связи в случае пероксикислот проявляется в интервале $855 - 885 \text{ см}^{-1}$ со средней интенсивностью как в ИК, так и в КР спектре (табл. 4). Вклад $\nu_{\text{O-O}}$ в РПЭ, согласно расчету, выполненному для соединений X и XI, не превышает 50 %, т. е. характеристичность этого колебания несколько снижается при переходе от гидропероксидов к пероксикислотам. В совокупности три рассмотренные полосы однозначно идентифицируют молекулы пероксикислот.

Таблица 4

Проявление ν_{OO} в ИК и КР спектрах пероксикислот

Соединение	$\nu_{\text{OO}}^{\text{эксп}}$ (см^{-1})	$I_{\text{скр}}^{\text{относ}} / I_{\text{ИК}}^{\text{относ}}$	ρ	$\nu_{\text{OO}}^{\text{расчет}}$	РПЭ
$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OON}$	860	60/70	0,15	872	$52\nu_{\text{OO}} 24\nu_{\text{CC}} 4\nu_{\text{CO}}$
$\text{CD}_3\text{C}(\text{O})\text{OON}$	907	175/35	0,2	884	$68\nu_{\text{OO}} 12\delta_{\text{CCD}} 7\nu_{\text{OCC}}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OON}$	880	100/15	0,3		
$\text{PhC}(\text{O})\text{OON}$	883	50/40	0,3		

Пероксиэфир. Получены ИК и КР спектры следующих пероксиэфиров: $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{CH}_3)_3$ (XIV), $\text{CD}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{CH}_3)_3$ (XV), $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{CD}_3)_3$ (XVI), $\text{PhC}(\text{O})\text{OOC}(\text{CH}_3)_3$ (XVII).

Характерным спектральным признаком пероксиэфиров является полоса $1760 \pm 7 \text{ см}^{-1}$, обусловленная валентным колебанием карбонильной группы, вклад которой в РПЭ, согласно расчету, выполненному для соединений XIV – XVI, достигает 70 %. Для третичных пероксиэфиров характерен также триплет линий в спектре КР в интервале $840 - 910 \text{ см}^{-1}$ со средними значениями частот 850, 865 и 890 см^{-1} . В РПЭ каждого колебания имеется вклад $\nu_{\text{O-O}}$, однако во всех случаях он не превышает 33 % (табл. 5). Если учесть существенные вклады деформаций углов OOC и изменений длин связей C – O, то можно считать, что указанные колебания локализованы на пероксидной цепочке, что обуславливает возможность их использования в аналитических целях. Для соединений XV и XVI существенно меняются формы некоторых колебаний, в результате чего в рассматриваемом интервале $830 - 910 \text{ см}^{-1}$ наблюдается не триплет, а дублет линий, как это видно из табл. 5.

Таблица 5

Проявление ν_{OO} в ИК и КР спектрах пероксиэфиров

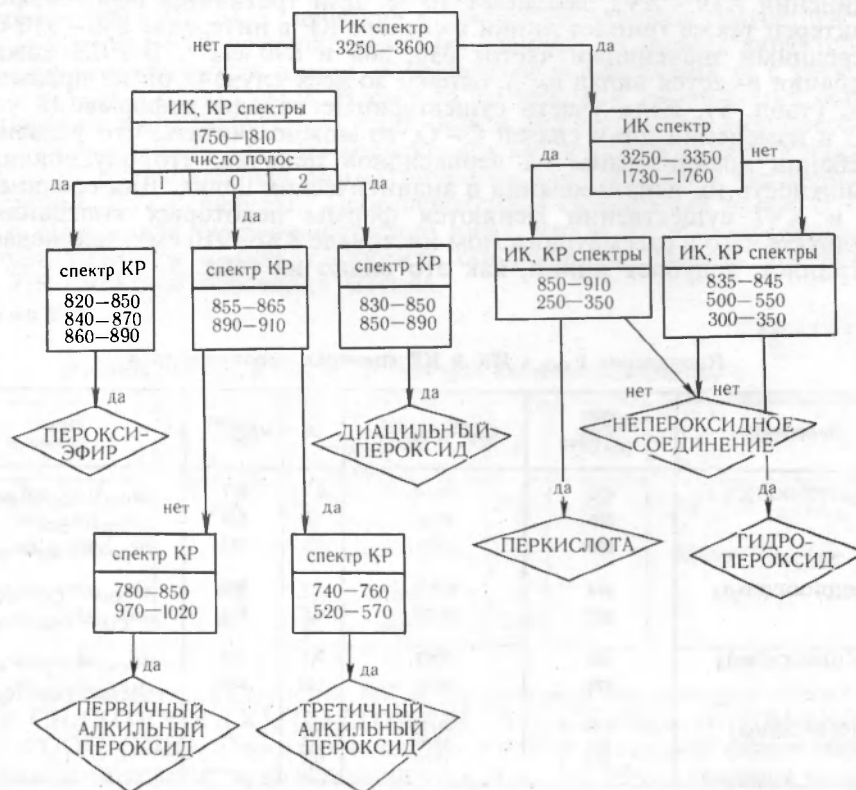
Соединение	$\nu_{\text{OO}}^{\text{эксп}}$ (см^{-1})	$I_{\text{скр}}^{\text{относ}} / I_{\text{ИК}}^{\text{относ}}$	ρ	$\nu_{\text{OO}}^{\text{расчет}}$	РПЭ
$(\text{CH}_3)\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{CH}_3)_3$	850	120/40	0,2	817	$33\nu_{\text{OO}} 31\nu_{\text{CC}} 20\delta_{\text{OCC}}$
	866	40/5	0,2	878	$30\nu_{\text{CO}} 21\nu_{\text{OO}} 20\nu_{\text{CC}}$
	890	15/3	0,5	933	$42\nu_{\text{CC}} 33\delta_{\text{CC}} 12\nu_{\text{OO}}$
$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{CD}_3)_3$	874	100/3	0,2	909	$49\nu_{\text{OO}} 14\nu_{\text{CC}} 7\nu_{\text{CO}}$
	822	35/20	0,5	841	$43\nu_{\text{CO}} 15\delta_{\text{OOC}} 7\nu_{\text{OO}}$
$\text{CD}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{CH}_3)_3$	888	30/2	0,2	933	$45\nu_{\text{CC}} 35\delta_{\text{CC}} 13\nu_{\text{OO}}$
	876	80/0	0,25	883	$31\nu_{\text{OO}} 40\nu_{\text{CC}} 7\nu_{\text{CO}}$
$\text{PhC}(\text{O})\text{OOC}(\text{CH}_3)_3$	835	20/10	0,2		
	864	37/6	0,3		
	884	16/0	0,1		

Диацильные пероксиды. Получены ИК и КР спектры следующих диацильных пероксидов: $(\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O})_2$ (XVIII), $(\text{CD}_3\text{C}(\text{O})\text{O})_2$ (XIX), $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{O})\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ (XX), $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{O})\text{Ph}$ (XXI). Для

диацильных пероксидов характеричен дублет карбонильного пщения 1870 и 1800 см^{-1} , который обусловлен симметричными и симметричными валентными колебаниями $\text{C}=\text{O}$ групп, а также д линий в интервале 840–900 см^{-1} , со средними значениями частоты 840 и 900 см^{-1} . Вклады $\nu_{\text{C}=\text{O}}$ и $\nu_{\text{C}-\text{O}}$ в РПЭ этих колебаний составляет 20, 40 и 33, 13 %. Согласно данным расчета, замена атомов Н на D в молекуле XVIII приводит к увеличению частоты колебаний с участием $\nu_{\text{C}-\text{O}}$ с одновременной локализацией их на $\text{O}-\text{O}$ связи. Формы колебаний при этом существенно меняются. Относительная интенсивность проявления колебаний $\nu_{\text{O}-\text{O}}$ в спектре КР значительно больше, чем в ИК спектре для соединений XVIII, XIX и XX, и примерно сравнима с соединениями XXI, что, очевидно, следует связать с реализацией симметрии C_2 для первых трех соединений и отсутствием таковой последнего.

Таблица 1
Проявление $\nu_{\text{O}-\text{O}}$ в ИК и КР спектрах диацильных пероксидов

Соединение	$\nu_{\text{O}-\text{O}}$ эксп. (см^{-1})	относ. $I_{\text{КР}}/I_{\text{ИК}}$	ρ	$\nu_{\text{O}-\text{O}}$ расчет	РПЭ
$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{O})\text{CH}_3$	844 904	60/3 85/6	0,4 0,5	835 899	43% CO 20% OO 22% OC 33% OO 26% CC 13% CS
$\text{CD}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{O})\text{CD}_3$	882 914	30/0 120/2	0,3 0,13	861 921	41% CO 17% OC 61% OO 10% CCD 8% CS
$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{O})\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{H}$	875 904	83/10 125/15	0,2 0,2		
$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOC}(\text{O})\text{Ph}$	858 898	27/8 48/12	0,2 0,3		



Блок-схема обработки спектральных данных по наличию (да) или отсутствию (нет) полос в указанных (см^{-1}) интервалах ИК и КР спектров исследуемых соединений

Таким образом, следует отметить, что в случае органических пероксидов спектры КР оказываются более информативными, чем спектры ИК поглощения. Это связано с тем, что колебания пероксидной группы с большей относительной интенсивностью проявляются в спектрах КР, а в некоторых случаях эти колебания в ИК спектре вообще неактивны. Спектральный диапазон проявления ν_{O-O} для исследованных пяти классов пероксидов составляет 835–910 см^{-1} . При этом наибольший вклад валентного колебания O–O связи в РПЭ составляет 70 % для гидропероксидов, а наименьший – 30 % – для диацильных пероксидов. Очевидно, замена атома водорода в пероксидной цепочке на атом углерода и особенно появление C–O групп приводит к усилению электронного и кинетического взаимодействия при колебании пероксидного остова ХООУ. При этом колебания можно считать локализованными на цепочке в целом. Это в свою очередь ведет к большей зависимости колебаний от вида и структуры примыкающих заместителей, что наблюдается в случае пероксиэфиров и диацильных пероксидов. Соотношение интенсивностей проявления ν_{O-O} в ИК и КР спектрах определяется локальной симметрией пероксидной цепочки. Так, для диацильных и особенно алкильных пероксидов, для которых реализуется локальная симметрия пероксидной цепочки C_2 и C_{2h} соответственно, ν_{O-O} с большей относительной интенсивностью проявляется в спектре КР по сравнению со спектром ИК поглощения. Для гидропероксидов, пероксикислот и пероксиэфиров относительная интенсивность проявления ν_{O-O} в ИК и КР спектре примерно одинакова. В целом, совокупность ИК и КР спектров позволяет однозначно идентифицировать любой из исследованных пяти классов пероксидов.

Проведенные исследования и полученные результаты позволяют предложить методику обработки спектральных данных для идентификации органических пероксидов, представленную на рисунке в виде блок-схемы.

Список литературы

1. Кауш Г. Разрушение полимеров. М., 1981. С. 440.
2. Грибов Л. А. Теория инфракрасных спектров полимеров. М., 1977.
3. Зятков И. П./Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Мн., 1963.
4. Melverger A. J., Anderson L. R., Ratcliffe C. T., Fox W. B.//Appl. Spectr. 1972. V. 3. P. 381.
5. Christie K. O.//Spectrochim. Acta. 1971. V. 27A. № 2. P. 463.
6. Зятков И. П., Сагайдак Д. И., Пицевич Г. А., Гоголинский В. И., Ксенофонтова Н. М.//ЖПС. 1983. Т. 38. Вып. 1. С. 110.
7. Schachtschneider J. H., Shider R. S.//Spectrochim. Acta. 1965. V. 21. № 2. P. 169.
8. Butwill Bell M. F.//Spectrochim. Acta. 1972. V. 28A. № 8. P. 2239.
9. Cugley J., Meyer R., Guntherd H. H.//Journ. Chem. Phys. 1976. V. 18. № 1. P. 281.
10. Slovokhotov Yu. L., Timofeeva T. V., Antipin M. Yu., Struchkov Yu.//Journ. Mol. Struct. 1984. V. 112. P. 127.
11. Dewar M. J. S., Thiel W.//Journ. Am. Chem. Soc. 1977. V. 99. № 15. P. 4889.

Поступила в редакцию 08.02.93.

УДК 621.373.826

В. И. КОНДРАТЕНКО, Н. И. АЛЕШКЕВИЧ,
И. В. КОВАЛЬ, Е. Л. ТИХОВА

ОПТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВЧ-ГОЛОГРАММ

In the paper the optical reconstruction of U. H. F. holograms in the absence of optical transparent and image coaxiality limitations is considered.

Radiation spectrum as the function of light wave incidence angle is calculated.

The possibility of undistorted simulation of the source directivity diagram according to its Fresnel zone hologram is pointed out.

Вопрос об оптическом восстановлении СВЧ-голограмм подробно рассмотрен в работах [1, 2], где в качестве одного из основных выводов указывается на невозможность достижения соответствия между продольным и поперечным масштабами преобразования поля. Данное обстоя-