

УДК 678.01:681.785.5

ИЗУЧЕНИЕ ВИНИЛЭФИРНОЙ СМОЛЫ И ОТВЕРЖДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Ерофеев В.Т., Деряева Е.В., Казначеев С.В., Танасейчук Б.С.

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,
Саранск, e-mail: kaznacheevsv@rambler.ru*

В статье показано, что из большого многообразия полимерных связующих предпочтительными являются производимые в последние годы в России винилэфирные смолы, представляющие собой раствор винилового эфира в мономере. Для отверждения винилэфирных смол рекомендуется иницирующая система, состоящая из диметиланилина, пероксида циклогексана и октоата кобальта. В данной работе методом ИК-спектроскопии изучена структура винилэфирной смолы и отверждающих компонентов. Из ИК-спектров органических соединений выделены три основные области: 1500–500 см⁻¹ – область валентных колебаний простых связей, 2500–1500 см⁻¹ – область валентных колебаний кратных связей и 4000–2500 см⁻¹ – область валентных колебаний простых связей. Даны характеристики этих областей и указано, какие соединения в структуре они позволяют определить. Показано, что разработанные винилэфирные композиты имеют высокие физико-механические показатели.

Ключевые слова: полимербетон, винилэфирная смола, структура, метод ИК-спектроскопии, основные области, отверждающая система

STUDYING OF VINYLESTER PITCH AND THE IK-SPECTROSCOPY METHOD CURING SYSTEMS

Erofeev V.T., Deryaeva E.V., Kaznacheev S.V., Tanaseychuk B.S.

Mordovia State University a.n. N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

In article it is shown that from big variety polymeric binding preferable are represented, the vinylester pitches made in recent years in Russia showing themselves solution of vinyl air in monomer. For an curing the vinylester of pitches is recommended the initiating system consisting of a dimetilanilin, peroxide of cyclohexanone and an oktoat of cobalt. In this work as method of IK-spectroscopy the structure of vinylester pitch and the curing components is studied. From IR spectrums of organic compounds three main areas are allocated: 1500–500 cm⁻¹ – area of valent fluctuations of simple communications, 2500–1500 cm⁻¹ – area of valent fluctuations of multiple communications and 4000–2500 cm⁻¹ – area of valent fluctuations of simple communications. Characteristics of these areas are given and is specified what connections in structure they allow to define. It is shown that the developed I blamed – radio composites have high physicommechanical rates.

Keywords: polymer concrete, vinilefirny pitch, structure, an IK-spectroscopy method, the main areas, the curing system

Создание новых строительных материалов и изделий, обеспечивающих улучшение их эксплуатационных показателей, повышение эффективности, снижение материалоемкости, стоимости и трудоемкости изготовления является основной задачей в области строительного материаловедения.

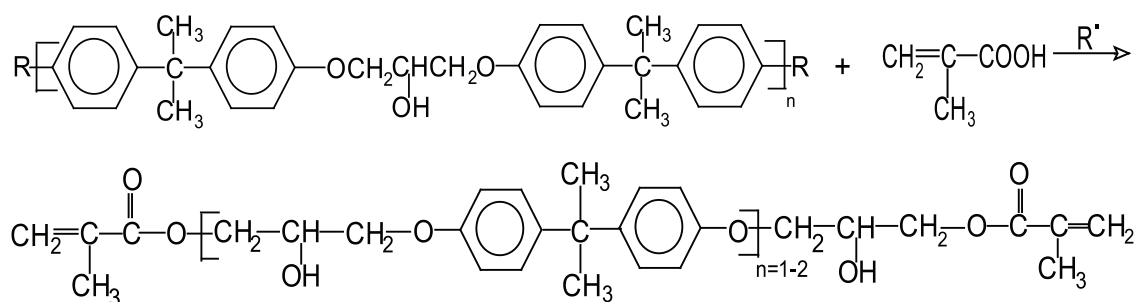
Основным компонентом композиционных материалов является вяжущее вещество, которое под воздействием отвердителей или воды переходит из жидкого или тестообразного состояния в твердое. Для изготовления композиционных строительных материалов используется большая группа неорганических и органических связующих, выбираемых с учетом условий эксплуатации и требований к изделиям. Наибольшее применение находят материалы на основе цементных, гипсовых, известковых, битумных и полимерных связующих [1–4, 6, 8, 9, 11, 16, 20–22, 26]. В некоторых областях строительства перспективны композиты на основе жидкого стекла, магнезиальных и серных связующих [12, 13, 17, 18, 25, 19, 23, 24].

Интенсификация строительства сопровождается непрерывными поисками более совершенных композиционных строительных материалов. Примером таких поисков могут служить работы последних лет по улучшению свойств бетонов с помощью полимеров: полимерцементных бетонов, бетонополимеров, полимербетонов. Последние изготавливают на полимерных связующих в смеси с химическими стойкими наполнителями и заполнителями без участия минеральных компонентов. По виду связующего различают фенолформальдегидные, фурановые, полиэфирные, эпоксидные, карбамидные, полиуретановые, ацетонформальдегидные, полиметилметакрилатный, полиэтиленовый и другие полимербетоны, а также многочисленные разновидности композитов на модифицированных и совмещенных смолах [4, 5, 27]. Отечественная и мировая практика показывает, что чаще в строительстве используются полимербетоны на эпоксидных, полиэфирных и карбамидных смолах [4, 5, 11, 27].

Из большого многообразия синтетических вяжущих предпочтительными представляются предлагаемые в последнее время отечественной промышленностью винилэфирные смолы, представляющие собой раствор винилового эфира в мономере. Для их получения в качестве мономеров могут выступать стирол, метилметакрилат, винилтолуол, диаллилфталат, триаллилцианурат. Существуют два основных вида винилэфирных смол: на основе диглицидилового эфира бисфенола А и на основе новолачного эпоксифенола.

Наличие в винилэфирной смоле соединения под названием диглицидиловый эфир бисфенола А может говорить о наличии у исследуемой смолы сходных характеристик с эпоксидной смолой.

В первом случае смолу получают реакцией эпоксидной смолы на основе диглицидилового эфира бисфенола А с метакриловой кислотой:



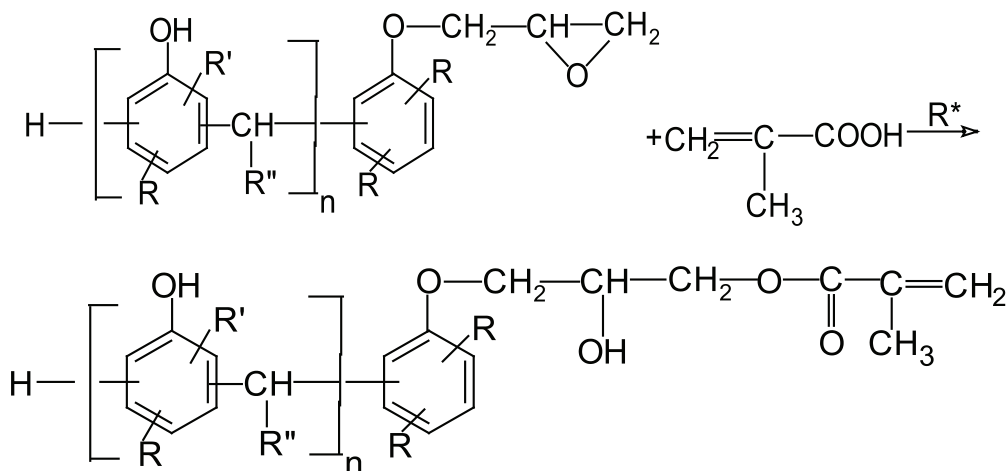
Затем она растворяется в стироле для получения смолы с содержанием твердого вещества не менее 50 %.

Во втором случае смола является продуктом реакции новолачного эпоксифенола и метакриловой кислоты, растворенных в стироле до получения смолы с содержанием твердого вещества 30–36 %:

Молекулярная структура винилэфирных смол позволяет им вступать в реакцию более полно по сравнению с полиэфирами. Это связано с тем, что поперечная сшивка винилэфиров является «концевой», т.е. происходит на концах молекулярной цепи, тогда как у ненасыщенных полиэфирных смол она происходит в середине цепи. Повторяющиеся двойные углеродные связи в эпоксицированной винилэфирной смоле являются реакционными участками, вступающими в свободнорадикальную реакцию. Сшивающиеся связи в полимеризованном винилэфире находятся в конце молекулярной цепи, следовательно, цепь имеет возможность удлинения под действием напряжения, поглощая механический или тепловой удар. Эпоксидная основа стандартной винилэфирной смолы обеспечивает хорошую температурную стабильность и высокую химическую стойкость.

В настоящее время для отверждения винилэфирных смол предложена иницирующая система, состоящая из диметиланилина (ДМА), пероксид циклогексанона (ПЦОН-2) и октоата кобальта (ОК-1).

Диметиланилин – (N,N-диметиламинобензол) – $(\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_5$ – желтая жидкость с дегтярным запахом, температура плавления



2,5 °С, температура кипения 194,15 °С, плохо растворим в воде (1,4 % при 12 °С). Растворяется в спиртах, бензоле, хлороформе, ацетоне. Получается обработкой анилина метанолом под давлением. Применяется в производстве основных красителей, проявитель для цветной фотографии. Вызывает превращение гемоглобина в метгемоглобин, образование язв на коже (ПДК 0,2 мг/м³).

Пероксид циклогексанона марки ПЦОН-2 – продукт взаимодействия циклогексанона с пероксидом водорода. В результате получается смесь, содержащая перекиси и гидроперекиси циклогексанона в трихлорэтилфосфате. По внешнему виду отвердитель ПЦОН-2 представляет собой бесцветную прозрачную жидкость со слабым специфическим запахом. Плотность 1,11–1,13 г/см³, показатель преломления 1,4718–1,4758. Массовая доля активного кислорода не ниже 4,6 %, массовая доля воды не более 4,2 %, $P_n = 3,1–6,7$. Температура плавления 70,78 °С и 82–83 °С соответственно. Растворяется в органических растворителях, не растворяется в воде. Сильно раздражает кожу и слизистые оболочки.

Ускоритель отверждения октоат кобальта марки ОК-1 представляет собой жидкость фиолетового или розового цвета. Ускоритель ОК-1 хорошо растворяется в ненасыщенных полиэфирных смолах. Массовая доля кобальта 1,2–1,5 %; плотность, г/см³ – 0,92–0,95; вязкость кинематическая – 0,96–1,3.

Винилэфирные композиты имеют высокие физико-механические показатели [11–14].

Полимерные композиционные материалы содержат два или более компонентов, и результирующий спектр является приближительной суммой спектров составляющих гомополимеров. За некоторым исключением, невозможно с помощью одной ИК-спектроскопии обнаружить разницу между сополимерами и смесью гомополимеров.

Количественный анализ методом ИК-спектроскопии выполняется прямым или косвенным сравнением оптической плотности неизвестного вещества при данной длине волны (часто в максимуме интенсивной полосе поглощения) с оптической плотностью того же вещества известной стандартной концентрации. Для расчетов наиболее полезным примером является оптическая плотность в максимуме, так как она легко измеряется и связана с концентрацией [28].

Были получены ИК-спектры неотвержденной винилэфирной смолы марки РП-14С, октоата кобальта (ОК-1), пероксида циклогексанона (ПЦОН-2), 10 % раствора диметиланилина в стироле (рис. 1–4).

Из ИК-спектров органических соединений можно выделить три основные области:

1. 1500–500 см⁻¹ – область валентных колебаний простых связей X–Y: C–C, C–N, C–O и деформационных колебаний простых связей X–H: C–H, O–H, N–H.

2. 2500–1500 см⁻¹ – область валентных колебаний кратных связей X=Y, X≡Y: C=C, C=O, C=N, C≡C, C≡N.

3. 4000–2500 см⁻¹ – область валентных колебаний простых связей X–H: O–H, N–H, C–H, S–H.

Первая область также называется «областью отпечатков пальцев», т.к. положение и интенсивность полос поглощения в этом диапазоне сугубо индивидуальны для каждого конкретного органического соединения. Только по полному совпадению частот и интенсивностей линий в этой области ИК-спектра можно говорить об идентичности сравниваемых объектов. При интерпретации ИК-спектров наиболее информативными являются области 2500–1500 и 4000–2500 см⁻¹. Анализ первой из них позволяет определить в структуре соединения непредельные фрагменты: C=C, C≡C, C=O, C=N, C≡N, ароматические и гетероароматические ядра. Полосы поглощения в области 4000–2500 см⁻¹ позволяют однозначно идентифицировать такие функциональные группы, как O–H, N–H, S–H, а также различные типы связей углерод–водород C_{sp^3} –H, C_{sp^2} –H, C_{sp} –H, (O=)C–H (альдегид). Поэтому рассмотрение ИК-спектров начинали именно с этих двух областей. При обнаружении в них характеристичных полос валентных колебаний определенных типов связей рекомендуется дополнительно рассматривать полосы соответствующих деформационных колебаний в области 1500–500 см⁻¹, например, в случае связей O–H, N–H, C–H.

В области наиболее высоких частот находятся полосы, отвечающие колебаниям групп, содержащих легкий атом водорода, т.е. групп C–H, N–H, O–H. Увеличение массы атомов при сохранении порядка связи смещают полосы поглощения в длинноволновую область (в сторону меньших частот). Увеличение кратности связи (при сохранении массы) вызывает повышение частот. Колебания, определяемые изменением углов, встречаются в области значительно меньших частот, чем колебания, связанные с растяжением соответствующих связей.

Из спектра неотвержденной винилэфирной смолы, приведенного на рис. 1, можно выделить следующие характеристические области.

Полоса поглощения 1462,22 см⁻¹ отвечает антисимметричному деформационному колебанию метильной группы (CH₃) в молекуле. Веерные и крутильные колебания метильной группы отражены

частотой $1300,18\text{ см}^{-1}$. Полоса поглощения $2966,88\text{ см}^{-1}$ говорит о наличии симметричных валентных колебаний метильной группы в структуре молекулы.

Присутствие кратной связи в молекуле органического соединения приводит к появлению полос поглощения, характеризующих эту связь, и изменяет положение полос поглощения групп, непосредственно связанных с нею. Валентные колебания связи $\text{C}=\text{C}$ характеризуются полосой поглощения в области $1680\text{--}1640\text{ см}^{-1}$. Это колебание не является строго валентным, поскольку наряду с растяжением связи $\text{C}=\text{C}$ происходит изменение валентных углов $\text{H}-\text{C}=\text{C}$ (до 50%). В ИК-спектре полоса валентного колебания $\text{C}=\text{C}$ слаба, особенно в тех случаях, когда этиленовая связь находится в середине молекулы. Этим и можно объяснить достаточно слабую полосу поглощения $1639,69\text{ см}^{-1}$, она свойственна для соединения $\text{RCH}=\text{CH}_2$. Поглощение области $1041,69$ и $829,49\text{ см}^{-1}$ с хорошей степенью достоверности характеризует концевую винильную группу ($\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2$).

1600 см^{-1} . Это хорошо видно в спектре винилэфирной смолы, где полоса поглощения $1508,52\text{ см}^{-1}$ интенсивнее, чем $1608,83\text{ см}^{-1}$, что говорит о наличии в соединении ароматического кольца.

Колебания карбонильной группы представлены полосой поглощения $1716,85\text{ см}^{-1}$. Полоса поглощения $1250,02\text{ см}^{-1}$ говорит о деформационных колебаниях связи $\text{C}-\text{O}$ в соединении группы $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, характерной для простых эфиров (так называемая «эфирная полоса»).

На следующем этапе исследований были получены ИК-спектры всех компонентов отверждающей системы (рис. 2–4).

На рис. 2 представлен ИК-спектр октоата кобальта.

Характерные полосы углеводородов, связанные с характеристическими частотами $\text{C}-\text{H}$ (металенные, метиленовые и метановые группы), находятся в трех областях: $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$, $1400\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ и около 700 см^{-1} . Валентные колебания связи $\text{C}-\text{H}$ проявляются в виде сложной полосы поглощения, в которой пики при 2962 и 2872 см^{-1} принадлежат колебаниям метильной

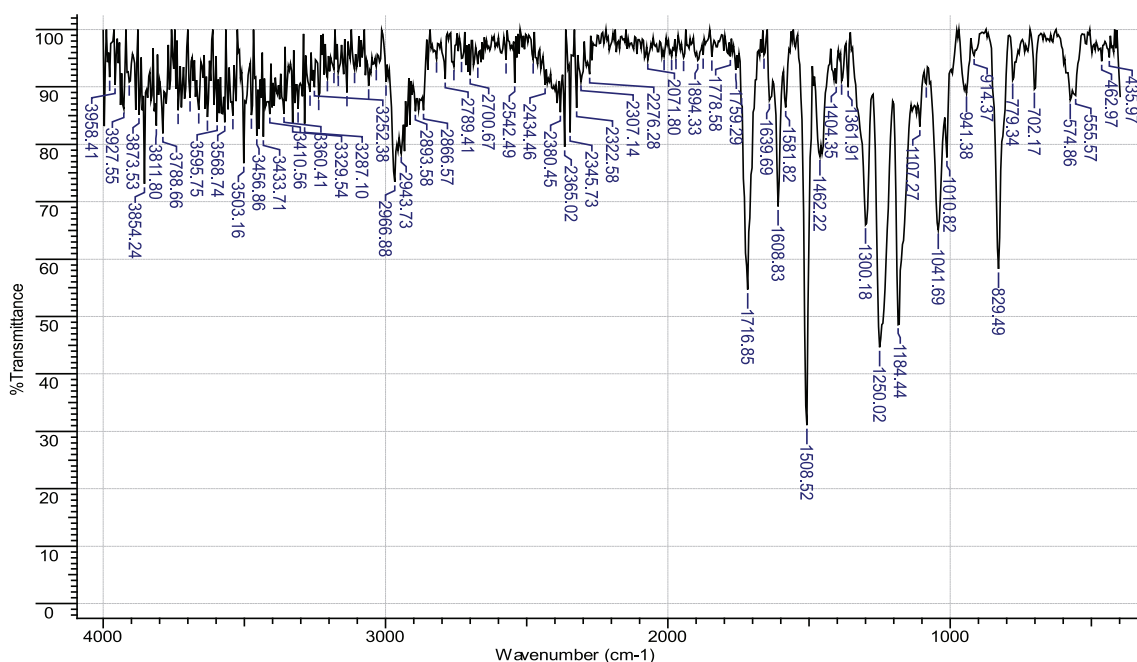


Рис. 1. ИК-спектр неотвержденной винилэфирной смолы РР-14С

Полосы поглощения в области $1600\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ в спектрах ароматических соединений могут проявиться в виде трех полос: при 1600 , 1580 , 1500 , 1450 см^{-1} интенсивность этих полос меняется в очень широких пределах. Как правило, полоса в области 1500 см^{-1} интенсивнее полосы при

группы – в рассматриваемом соединении это частота $2870,43\text{ см}^{-1}$. Как правило, интенсивность поглощения метиленовых групп значительно возрастает с увеличением их числа, в то время как интенсивность полос метальных групп изменяется мало. Для метиленовых групп CH_2 характерны четыре типа

деформационных колебаний: ножничные (bending), веерные (wagging), крутильные (twisting) и маятниковые – (rocking). Маятниковые колебания метиленовой группы CH_2 в октоате кобальта характеризуются наличием частоты $775,48 \text{ см}^{-1}$.

Интенсивность поглощения метиленовых групп значительно возрастает с увеличением их числа, в то время как интенсив-

ность полос метальных групп изменяется мало (небольшое изменение интенсивности происходит за счет перекрывания полос групп CH_2 и CH_3). Интенсивность полос поглощения групп CH_2 и CH_3 находится в линейной зависимости от их числа, что может быть использовано для определения количества метальных и метиленовых групп в индивидуальных углеводородах или их смесях.

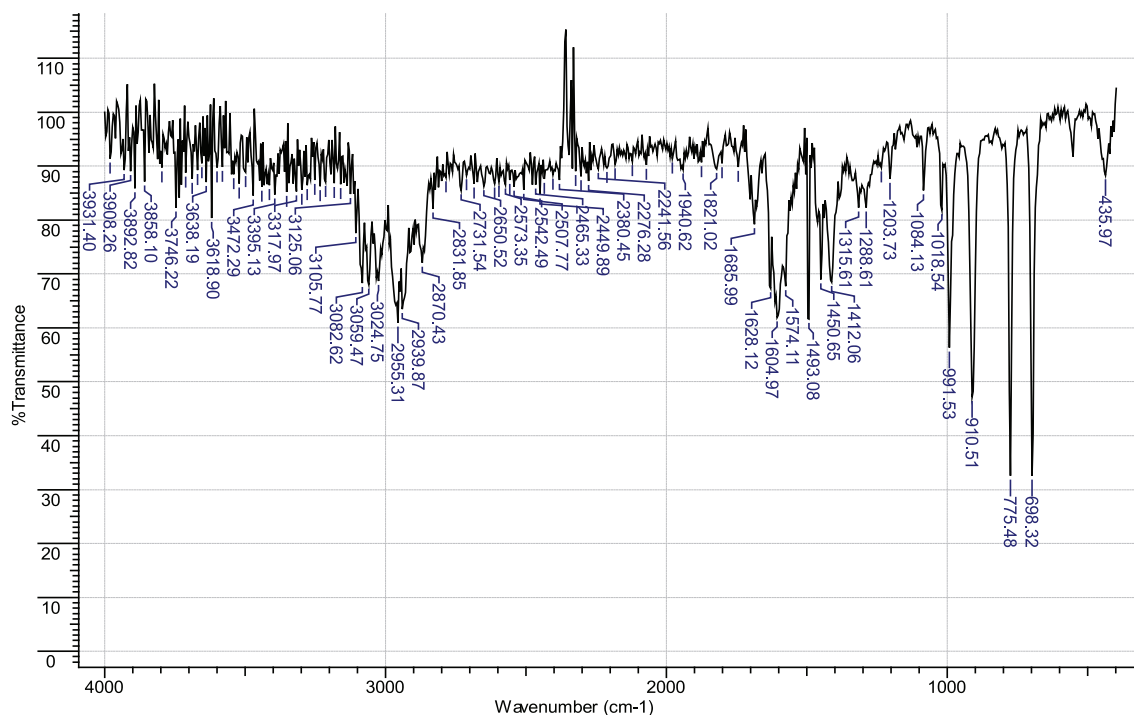


Рис. 2. ИК-спектр октоата кобальта ОК-1

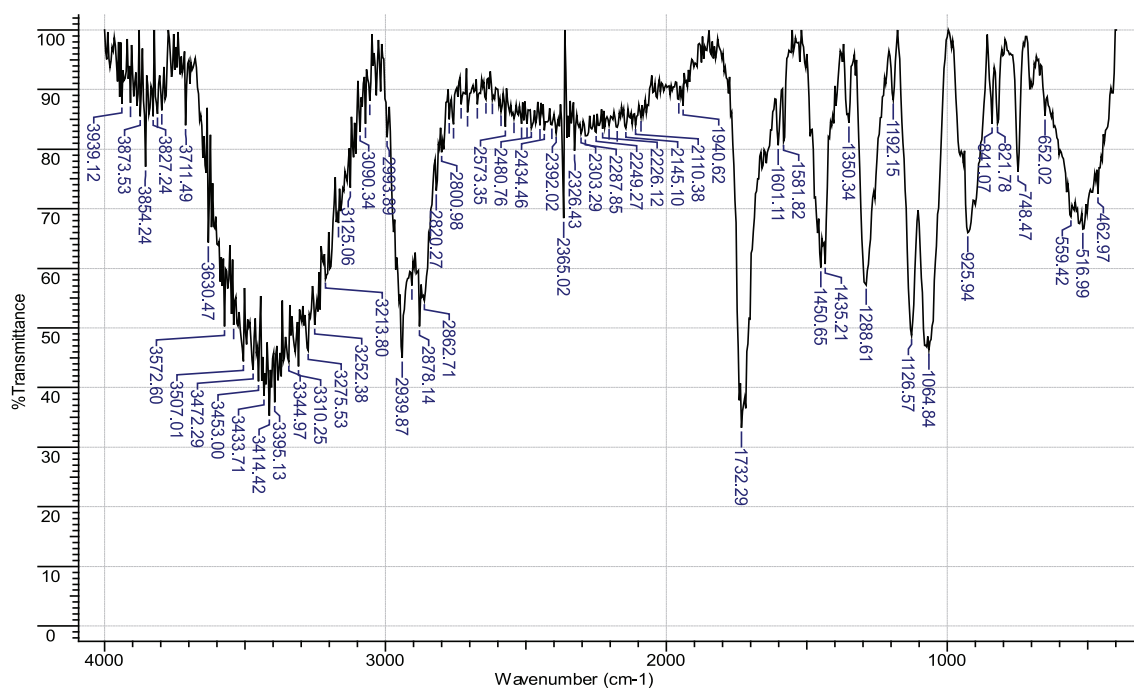


Рис. 3. ИК-спектр пероксида циклогексанона ПЦОН-2

Частоты 3082,62 и 2955,31 см^{-1} , наблюдаемые в спектре характерны для группы $=\text{CH}_2$ и асимметричных валентных колебаний группы CH_3 соответственно. Колебания ароматического кольца представлены в спектре частотами 1604,97 и 1493,08 см^{-1} , что говорит о наличии в ускорителе ОК-1 стирольных групп. Полосы поглощения в области 775,48 и 698,32 см^{-1} свидетельствуют о деформативных колебаниях связи $\text{C}-\text{H}$ в группах CH_3 , причем интенсивность данных полос поглощения говорит о достаточно большом числе рассматриваемых групп в молекуле углеводорода. Пик спектра с частотой 435,97 см^{-1} характеризует наличие кобальта в соединении.

ИК-спектр пероксида циклогексанона приведен на рис. 3.

Введение гидроксильной группы в молекулу органического соединения приводит к изменению спектра и к появлению новых полос поглощения, связанных с колебаниями связей $\text{O}-\text{H}$ и $\text{C}-\text{O}$. Наиболее характерные полосы поглощения появляются в областях 3600–3000 см^{-1} (валентные колебания $\text{O}-\text{H}$ группы) и 1400–1000 см^{-1} (колебания, связанные с присутствием группы $\text{C}-\text{O}-\text{H}$). В области 3630,47–3213,80 см^{-1} проявляются валентные колебания $\text{O}-\text{H}$, которые являются характеристическими, поскольку в них принимает участие легкий атом водорода. Участие гидроксильной группы в образовании межмолекулярных водородных связей проявляется в смещении полосы поглощения в сторону меньших частот и значительном увеличении ее интенсивности, что и наблюдается на рис. 3.

Область 1400–1000 см^{-1} является областью скелетных колебаний молекулы.

Наличие полярной связи $\text{C}-\text{O}$ вызывает появление интенсивной полосы поглощения в интервале 1200–1000 см^{-1} (в нашем случае это частоты 1126,57 и 1064,84 см^{-1}), вызванной участием этой группы в скелетных колебаниях. В нашем случае данная связь присутствует в соединении $\text{C}-\text{OH}$ циклических третичных спиртов. Кроме того, в области 1400–1250 см^{-1} (1288,61 см^{-1} в спектре) появляются интенсивные полосы поглощения, связанные с плоскими деформационными колебаниями группы OH . Наличие в соединении связи $\text{C}=\text{O}$ отражено частотой 1732,29 см^{-1} .

ИК-спектр 10%-ного раствора диметиланилина в стироле приведен на рис. 4.

Полосы поглощения в области 1650–1500 см^{-1} (в нашем случае 1601,11 см^{-1}) определяются деформационными колебаниями аминогруппы. Полоса деформационных колебаний NH -группы вторичных аминов, расположенная в области 1600–1500 см^{-1} , обычно слабая и определяется трудно. В ароматических аминах она маскируется скелетными колебаниями кольца. Аминогруппа влияет на валентные и деформационные колебания углеводородного радикала. Деформационные колебания метиленовой группы, соединенной с электроноакцепторным азотом $=\text{N}^-$, находятся в области 1440–1400 см^{-1} , т.е. существенно снижены. Полоса поглощения 1493,08 см^{-1} скорее всего, указывает на наличие группировки >C=N< . Полоса поглощения с частотой 2924,44 см^{-1} характеризует асимметричные валентные колебания группы CH_3 .

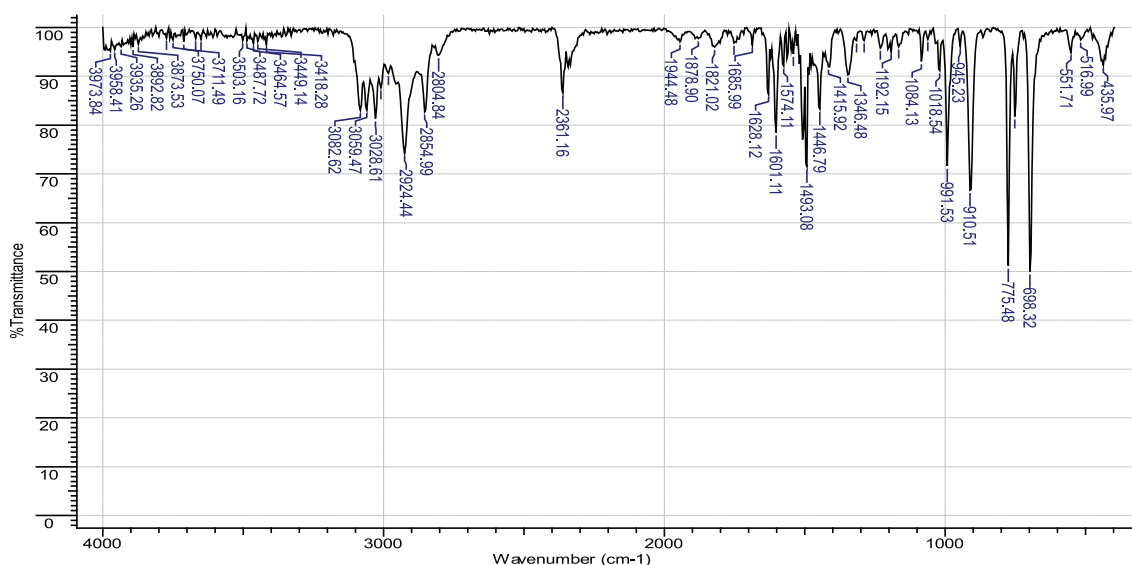


Рис. 4. ИК-спектр 10%-ного раствора диметиланилина в стироле

Выводы

1. Из большого многообразия полимерных связующих предпочтительными являются производимые в последние годы в России винилэфирные смолы, представляющие собой раствор винилового эфира в мономере.

2. Для отверждения винилэфирных смол рекомендуется иницирующая система, состоящая из диметиланилина, пероксида циклогексанона и октоата кобальта.

3. В данной работе методом ИК-спектроскопии изучена структура винилэфирной смолы и отверждающих компонентов.

4. Количественный анализ методом ИК-спектроскопии выполняется сравнением оптической плотности веществ в максимуме.

5. Из ИК-спектров органических соединений выделены три основные области:

- $1500\text{--}500\text{ см}^{-1}$ – область валентных колебаний простых связей $X\text{--}Y$: $C\text{--}C$, $C\text{--}N$, $C\text{--}O$ и деформационных колебаний простых связей $X\text{--}H$: $C\text{--}H$, $O\text{--}H$, $N\text{--}H$ – положение и интенсивность полос поглощения в этом диапазоне сугубо индивидуальны для каждого конкретного органического соединения.

- $2500\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ – область валентных колебаний кратных связей $X=Y$, $X\equiv Y$: $C=C$, $C=O$, $C=N$, $C\equiv C$, $C\equiv N$ – позволяет определить в структуре соединения непредельные фрагменты: $C=C$, $C\equiv C$, $C=O$, $C=N$, $C\equiv N$, ароматические и гетероароматические ядра.

- $4000\text{--}2500\text{ см}^{-1}$ – область валентных колебаний простых связей $X\text{--}H$: $O\text{--}H$, $N\text{--}H$, $C\text{--}H$, $S\text{--}H$ – позволяют однозначно идентифицировать такие функциональные группы, как $O\text{--}H$, $N\text{--}H$, $S\text{--}H$, а также различные типы связей углерод – водород $C_{sp^3}\text{--}H$, $C_{sp^2}\text{--}H$, $C_{sp}\text{--}H$, $(O=)C\text{--}H$ (альдегид).

Список литературы

1. Бажанова М.Е., Ерофеев В.Т., Бобрышев А.Н. Исследование стойкости полимерных и металлополимерных трубопроводных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5–2 (38). – С. 415–421.
2. Бажанова М.Е., Ерофеев В.Т. Стойкость трубопроводных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 1. – С. 31–33.
3. Баженов Ю.М., Федосов С.В., Ерофеев В.Т. и др. Цементные композиты на основе магнитно- и электрохимически активированной воды затворения. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – 128 с.
4. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. Полимерные композиционные материалы. – М.: АСВ, 2013. – 474 с.
5. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.И. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композиционных систем. – СПб.: Наука, 2012. – 476 с.
6. Богатова С.Н., Богатов А.Д., Ерофеев В.Т., Казначеев С.В., Захарова Е.А. Исследование биологической стойкости эпоксидных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. – № 3. – С. 42–45.
7. Волгина Е.В., Казначеев С.В., Ерофеев В.Т., Кротова В.М. Деформативность винилэфирных композитов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 6 (45). – С. 082–090.
8. Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Кондакова И.Э., Казначеев С.В., Богатов А.Д. Биостойкость эпоксидных полимербетонов, модифицированных каменноугольной смолой // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 7–2. – С. 310–325.
9. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Калгин Ю.И. и др. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность). – Саранск, 2009. – 276 с.
10. Ерофеев В.Т., Волгина Е.В., Казначеев С.В., Кротова В.М. Исследование прочности винилэфирных композитов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – № 4. – С. 081–088.
11. Ерофеев В.Т. Каркасные строительные композиты: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – М., 1993.
12. Ерофеев В.Т., Коротаев С.А. Каркасные технологии обжигового материала с наполнителем на стеклообразном связующем // Строительные материалы. – 2014. – № 3 (711). – С. 88–91.
13. Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Лаптев Г.А. и др. Моделирование свойств металлобетонов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–17. – С. 3699–3708.
14. Ерофеев В.Т., Волгина Е.В., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Ерыкалина И.В. Оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 22–31.
15. Ерофеев В.Т., Волгина Е.В., Ерыкалина И.В., Казначеев С.В. Оптимизация содержания отверждающих компонентов в винилэфирных композитах // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5–2 (38). – С. 427–433.
16. Ерофеев В.Т., Меркулов И.И., Меркулов А.И., Ерофеев П.С. Оптимизация составов бетонов с применением численного моделирования. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 100 с.
17. Ерофеев В.Т., Завалишин Е.В., Богатов А.Д., Астахов А.М., Коротаев С.А., Никитин Л.В. Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формирования. – М.: АСВ, 2009. – 160 с.
18. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Богатов А.Д. и др. Строительные материалы на основе отходов стекла. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 120 с.
19. Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Лаптев Г.А., Ерофеев П.С., Меркулов А.И. Экспериментально-теоретическое обоснование создания металлобетонов с оптимальной структурой и повышенной долговечностью // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 1. – С. 70–76.
20. Ерофеев В.Т., Соколова Ю.А., Богатов А.Д. и др. Эпоксидные полимербетоны, модифицируемые нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминопроизводственными соединениями. – М.: АСВ, 2012. – 244 с.
21. Железобетонные изделия и конструкции: Научно-технический справочник / под ред. Ю.В. Пухаренко, Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. – СПб.: НПО «Профессионал», 2013. – 1048 с.
22. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н. и др. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. – 2014. – № 5. – С. 88–91.

23. Королев Е.В., Прошин А.П., Ерофеев В.Т. и др. Строительные материалы на основе серы. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 372 с.

24. Лаптев Г.А., Губанов Д.А., Ерофеев В.Т. Оптимизация составов мателлобетонов на алюминиевом связующем // Известия КГАСУ. – 2012. – № 4. – С. 307–311.

25. Лаптев Г.А., Потапов Ю.Б., Ерофеев В.Т. Разработка технологии изготовления металлобетонов // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 1 (57). – С. 123–129.

26. Леснов В.В., Борискин А.С., Ерофеев В.Т., Коняшин А.А. Дисперсно-армированные композиты для дорожных покрытий и транспортных сооружений // Транспортное строительство. – 2007. – № 5. – С. 24.

27. Мышкин А.В., Ерофеев В.Т. Оптимизация составов полиэфиракрилатных композитов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3 (17). – С. 56–61.

28. Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров: пер. с англ. в 2 Ч. – ч. 1. – М.: Мир, 1983. – 384 с.

References

1. Bazhanova M. E., Erofeev V.T., Bobryshev A.N. Issledovanie stoykosti polimernykh i metallopolimernykh truboprovodnykh materialov v usloviyakh vozdeystviya pochvennykh mikroorganizmov // Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. no. 5–2 (38). pp. 415–421.

2. Bazhanova M.E., Erofeev V.T. Stoykost truboprovodnykh materialov v usloviyakh vozdeystviya pochvennykh mikroorganizmov // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2012. no. 1. pp. 31–33.

3. Bazhenov Ju. M., Fedosov S.V., Erofeev V.T. i dr. Cementnye kompozity na osnove magnitno- i jelektrohimičeski aktivirovannoy vody zatvoreniya. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2011. 128 p.

4. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. Polimernye kompozicionnye materialy. M.: ASV, 2013. 474 p.

5. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.I. Fizika i sinergetika dispersno-neuporjadochennykh kondensirovannykh kompozicionnykh sistem. SPb.: Nauka, 2012. 476 p.

6. Bogatova S.N., Bogatov A.D., Erofeev V.T., Kaznacheev S.V., Zaharova E.A. Issledovanie biologicheskoy stoykosti jepoksidnykh pokrytij // Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye. 2011. no. 3. pp. 42–45.

7. Volgina E.V., Kaznacheev S.V., Erofeev V.T., Kretova V.M. Deformativnost viniljefirnykh kompozitov // Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. no. 6 (45). pp. 082–090.

8. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Kondakova I.Je., Kaznacheev S.V., Bogatov A.D. Biostoykost jepoksidnykh polimerbetonov, modifitsirovannykh kamenougolnoy smoloy // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2013. no. 7–2. pp. 310–325.

9. Erofeev V.T., Bazhenov Ju.M., Kalgin Ju.I. i dr. Dorozhnye bitumomineralnye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov (tehnologiya, svoystva, dolgovechnost). Saransk, 2009. 276 p.

10. Erofeev V.T., Volgina E.V., Kaznacheev S.V., Kretova V.M. Issledovanie prochnosti viniljefirnykh kompozitov // Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tehnologii. 2013. no. 4. pp. 081–088.

11. Erofeev V.T. Karkasnye stroitelnye kompozity : Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni doktora teh-

nicheskikh nauk / Nacionalnyy issledovatel'skiy Mordovskiy gosudarstvennyy universitet im. N.P. Ogareva. Moskva, 1993.

12. Erofeev V.T., Korotaev S.A. Karkasnye tehnologii obzhigovogo materiala s zapolnitelem na stekloobraznom svyazujushhem // Stroitelnye materialy, no. 3 (711), 2014. pp. 88–91.

13. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Laptev G.A. i dr. Modelirovaniye svoystv metallobetonov // Fundamentalnye issledovaniya. 2015. no. 2–17. pp. 3699–3708.

14. Erofeev V.T., Volgina E.V., Kaznacheev S.V., Bogatov A.D., Erykalina I.V. Optimizatsiya soderzhanija komponentov viniljefirnykh kompozitov // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. 2012. no. 1. pp. 22–31.

15. Erofeev V.T., Volgina E.V., Erykalina I.V., Kaznacheev S.V. Optimizatsiya soderzhanija otverzhdayushhih komponentov v viniljefirnykh kompozitah // Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. no. 5–2 (38). pp. 427–433.

16. Erofeev V.T., Merkulov I.I., Merkulov A.I., Erofeev P.S. Optimizatsiya sostavov betonov s primeneniem chislennogo modelirovaniya. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2006. 100 p.

17. Erofeev V.T., Zavalishin E.V., Bogatov A.D., Astashov A.M., Korotaev S.A., Nikitin L.V. Silikatnye i polimersilikatnye kompozity karkasnoy struktury rolkovogo formovaniya. M.: ASV, 2009. 160 s.

18. Erofeev V.T., Bazhenov Ju. M., Bogatov A.D. [i dr.]. Stroitelnye materialy na osnove othodov stekla. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2005. 120 p.

19. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Laptev G.A., Erofeev P.S., Merkulov A. I. Jeksperimentalno-teoreticheskoe obosnovanie sozdaniya metallobetonov s optimalnoy strukturoy i povyshennoy dolgovechnostyu // Akademicheskij vestnik Ural-NIiproekt RAASN. 2015. no. 1. pp. 70–76.

20. Erofeev V.T., Sokolova Ju.A., Bogatov A.D. i dr. Jepoksidnye polimerbetony, modifitsiruemye nefljanymi bitumami, kamenougolnoy i karbamidnoy smolami i aminoproizvodstvennymi soedineniyami. M.: ASV, 2012. 244 p.

21. Zhelezobetonnye izdeliya i konstrukcii: Nauchno-tekhnicheskij spravochnik / pod red. Ju.V. Puharenko, Ju.M. Bazhenova, V.T. Erofeeva. S.-Peterburg: NPO «Professional», 2013. 1048 p.

22. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N. i dr. Nanogidrosilikatnye tehnologii v proizvodstve betonov // Stroitelnye materialy. no. 5. 2014. pp. 88–91.

23. Korolev E.V., Proshin A.P., Erofeev V.T. [i dr.]. Stroitelnye materialy na osnove sery. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2003. 372 s.

24. Laptev G.A., Gubanov D.A., Erofeev V.T. Optimizatsiya sostavov matellobetonov na aljuminievom svyazujushhem // Izvestiya KGASU, 2012. no. 4. pp. 307–311.

25. Laptev G.A., Potapov Ju.B., Erofeev V.T. Razrabotka tehnologii izgotovleniya metallobetonov // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. 2015. no. 1 (57). pp. 123–129.

26. Leshov V.V., Boriskin A.S., Erofeev V.T., Konjashin A.A. Dispersno-armirovannye kompozity dlja dorozhnykh pokrytij i transportnykh sooruzhenij // Transportnoe stroitelstvo. 2007. no. 5. pp. 24.

27. Myshkin A.V., Erofeev V.T. Optimizatsiya sostavov polijefirakrilatnykh kompozitov // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. no. 3 (17), 2013. pp. 56–61.

28. Rabek Ja. Jeksperimentalnye metody v himii polimerov: per. s angl. v 2 Ch. ch. 1. M.: Mir, 1983. 384 p.