

УДК 678.01:681.785.5

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ ВИНИЛЭФИРНОЙ СМОЛЫ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

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

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

В статье было проведено изучение процессов отверждения винилэфирной смолы методом ИК-спектроскопии. На ИК-спектрах отвержденной смолы по сравнению с неотвержденной отмечено появление новых пиков, которые указывают, что полимеризация смолы происходит по винильной группе. В статье показано, как в процессе отверждения происходит изменение структуры винилэфирной смолы. Произведена оценка степени отверждения винилэфирных композитов в зависимости от количественного содержания компонентов отверждающей системы. Степень отверждения полимерных композитов составляет 80–98%, что говорит о небольшом количестве непрореагировавших винильных групп, это ведет к высокой стойкости под действием ультрафиолетового излучения. Методом математического планирования экспериментов подобраны оптимальные составы винилэфирных композитов, имеющих относительную степень отверждения более 0,98, что является довольно высоким показателем.

Ключевые слова: полимербетон, винилэфирная смола, структура, метод ИК-спектроскопии, пик, оптимальный состав

STUDYING OF PROCESSES OF CURING OF VINYLESTER PITCH BY METHOD IK SPECTROSCOPY

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

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

In article studying of processes of an curing of vinylester pitch was carried out by an IK-spectroscopy method. On IR spectrums of the cured pitch in comparison with not cured emergence of new peaks which specify is noted that polymerization of pitch happens on vinylester group. In article it is shown as in the course of an curing there is a change of structure of vinylester pitch. In the course of an curing it is visible that there is a change of structure of vinylester pitch. The curing degree assessment the vinylester of composites depending on the quantitative maintenance of components of the curing system is made. Degree of an curing of polymeric composites makes 80–98% that speaks about a small amount of the groups which didn't react the vinylester, it conducts to high resistance under the influence of ultra-violet radiation. The method of mathematical planning of experiments picked up the vinylester of the composites having relative degree an curing more than 0,98 that is quite high rate.

Keywords: polymer concrete, vinilether pitch, structure, IK-spectroscopy method, peak, optimum structure

Новые химические и биологические технологии, химизация народного хозяйства привели к бурному росту числа предприятий с агрессивными технологическими средами. Поэтому задача увеличения объемов выпуска долговечных и эффективных материалов композиционного типа, способных обеспечить длительную и надежную работу конструкций и сооружений в агрессивных средах, становится чрезвычайно актуальной и требует незамедлительного решения [3, 12, 13, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25]. Радикальным способом повышения долговечности композиционных материалов и изделий является применение композитов на полимерном вяжущем. К конструкционным композитам подобного типа относятся полимербетоны [1, 2, 5, 9, 17, 20, 26].

Отечественная и мировая практика показывает, что чаще в строительстве используются полимербетоны на эпоксидных, полиэфирных и карбамидных смолах [4–6, 8, 11, 27].

В последнее время отечественная промышленность начала выпускать винилэ-

фирную смолу марки РП-14С. Разработаны также новые иницирующие системы для ее отверждения. Винилэфирные композиты имеют высокие физико-механические показатели [7, 10, 11, 14, 15]. В этой связи исследования, проведенные в данной работе, направленные на изучение отвержденной винилэфирной смолы методом ИК-спектроскопии, являются актуальными.

Для отверждения винилэфирных смол в зарубежной практике применяют различные отверждающие системы, зачастую состоящие из нескольких реагентов. Правильный выбор отверждающей системы зависит в большой степени от технологии нанесения, продолжительности гелеобразования и требований к конечному продукту. Время гелеобразования можно изменять, варьируя дозировку пероксида, кобальтовых добавок или использование ингибиторов. Если дозировка кобальта слишком мала, это может привести к плохому отверждению при температурах более низких по сравнению с оптимальными.

Все типы полиэфирных, винилэфирных и смол на основе бисфенола А можно отверждать сходными системами, используя готовые материалы. Катализаторы (пероксиды/отвердители) для ненасыщенных полиэфиров – это нестабильные молекулы с высокой энергией, которые распадаются на крайне активные части – радикалы – под влиянием нагревания, действия солей металлов и аминов (ускорителей) либо ультрафиолетового света. Эти радикалы способны вступать в реакцию с молекулами полиэфира или стирола с образованием новых радикалов, инициируя цепную реакцию. Химическая реакция, инициируемая катализаторами и ускорителями, создает экзотермический эффект (выделение тепла), что обеспечивает оптимальное отверждение.

Ранее на основании частот поглощения ИК-спектра неотвержденной винилэфирной смолы РП-14С были выявлены соединения, входящие в ее состав. В процессе отверждения молекулярная структура винилэфирной смолы претерпевает существенные изменения.

Рассмотрим как изменилась структура винилэфирной смолы РП-14С в процессе отверждения, проанализировав ее ИК-спектры (рис. 1).

В процессе отверждения видно, что происходит изменение структуры винилэфирной смолы. При взаимодействии винилэфирной смолы РП-14С и отверждающей системы в ИК-спектре отвержденной смолы мы можем наблюдать как

появление новых, не характерных для неотвержденной смолы частот поглощения, так и усиление ранее известных. Так частота $3059,47\text{ см}^{-1}$ характерна для алкенов, имеющих в своем составе виниловую трансгруппу $\text{RCH}=\text{CHR}'$. Частоты $2966,88$ и $2928,30\text{ см}^{-1}$ принадлежат CH_3 группам в ненасыщенных алифатических и ароматических соединениях соответственно. В простых эфирах ROR' алифатическая группа CH_2 , следующая за кислородом, представлена частотой $2874,29\text{ см}^{-1}$. Повышение интенсивности частоты $702,17\text{ см}^{-1}$ говорит о наличии в отвержденной смоле 1,2,3-тризамещенных ароматических углеводородов. Присутствие в отвержденной винилэфирной смоле РП-14С эфиров муравьиной кислоты RCOOR' подтверждается частотой $1724,57\text{ см}^{-1}$, характерной для двойной связи $\text{C}=\text{O}$. Нормальное колебание кольца в ароматическом углеводороде представлено частотой $1604,97\text{ см}^{-1}$. В отвержденной винилэфирной смоле РП-14С наблюдается появление широкой полосы поглощения в области $3750,07\text{--}3418,28\text{ см}^{-1}$, что говорит о присоединении в процессе отверждения радикалов циклогексанона к молекуле смолы. На ИК-спектре отвержденной винилэфирной смолы марки РП-14С отсутствует частота $1041,69\text{ см}^{-1}$, что говорит о разрыве концевых двойных связей ($-\text{HC}=\text{CH}_2$), участвующих в процессе полимеризации. Следовательно, реакция полимеризации происходит по винильной группе.

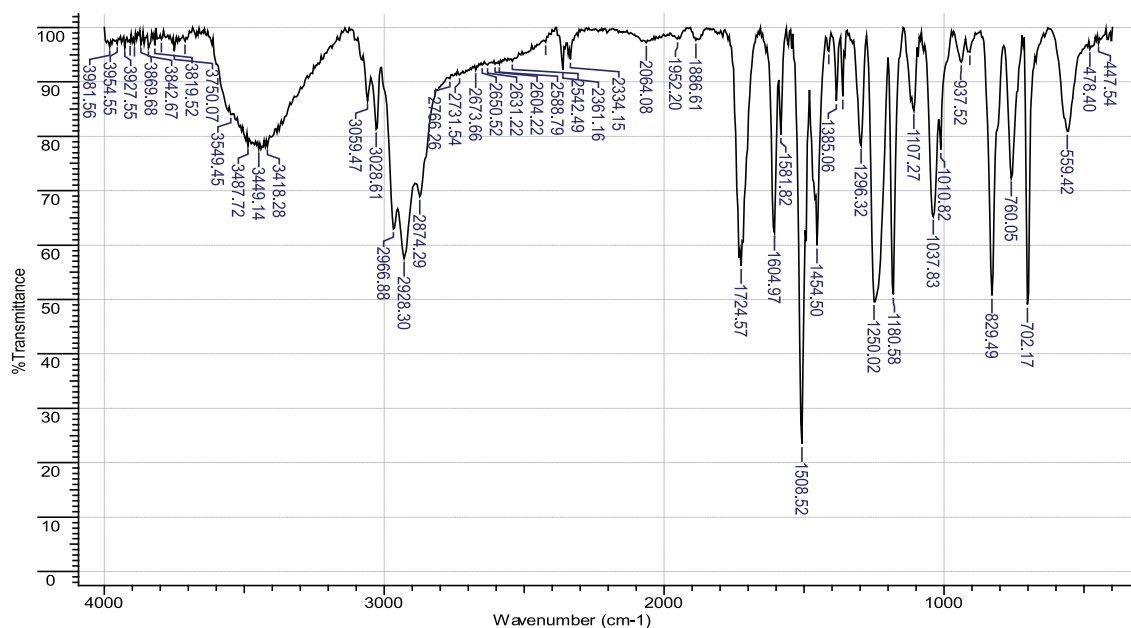


Рис. 1. ИК-спектр отвержденной винилэфирной смолы с ДМА 1%

Для определения количественного значения непрореагировавших винильных групп будем основываться на законе Ламберта – Бера [28]:

$$A = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (1)$$

где A – поглощение (безразмерная величина); I_0 – интенсивность падающего инфракрасного излучения (или интенсивность облучения, прошедшего через кювету сравнения); I – интенсивность инфракрасного излучения, прошедшего через образец.

Для того чтобы можно было сделать поправки на частичное рассеяние инфракрасного излучения и перекрытие соседних пиков поглощения, нужно, как это показано на рис. 2, построить базовую линию и оценить I_0 как интенсивность пропускания относительно базовой линии. Поглощение (A) при определенной частоте (см^{-1}) равняется [20]:

$$A = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = \lg\left(\frac{AC}{AB}\right). \quad (2)$$

Для исследования влияния количества и соотношения компонентов иницирующей системы на степень отверждения винилэфирной смолы РП-14С нами был составлен план эксперимента (табл. 1), в соответствии с которым были изготовлены образцы винилэфирной матрицы. ИК-спектры образцов регистрировались на фурье-спектрометре ИнфраЛИУМ ФТ-02 в виде таблеток в КВг (1% твердая суспензия). Полуколичественный анализ ИК-спектров позволил оценить изменение реакционно-способных групп в структуре полимера по изменению оптической плотности на характеристических полосах поглощения связей. На основании результатов экспериментальных исследований были получены данные о степени отверждения винилэфирной смолы марки РП-14С, которые приведены в виде табл. 2 и графического материала на рис. 2.

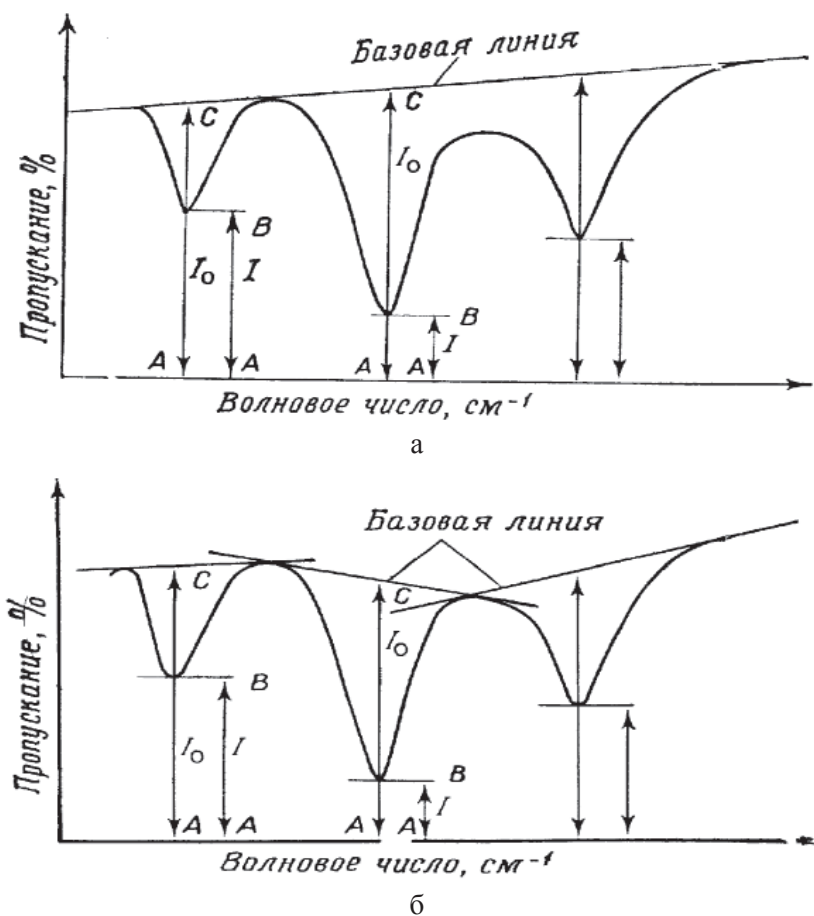


Рис. 2. Два способа построения базовой линии [28]

Таблица 1

Комплексный симметричный двухуровневый план второго порядка
(факторы и уровни их варьирования)

Номер состава	Факторы и уровни варьирования			
	X_1	X_2	Содержание компонентов в мас. ч. на 100 мас. ч. смолы	
			Ускорителя ОК-1	Инициатора ПЦОН-2
1	-1	-1	1	0,5
2	0	-1	1	1,5
3	1	-1	1	2,5
4	-1	0	3	0,5
5	0	0	3	1,5
6	1	0	3	2,5
7	-1	1	5	0,5
8	0	1	5	1,5
9	1	1	5	2,5

Примечание. X_1 – содержание ускорителя; X_2 – содержание отвердителя.

Таблица 2

Экспериментальные данные степени отверждения составов
на основе винилэфирной смолы

Номер состава	Оптическая плотность		Отношение величин AC/AB см ⁻¹	Степень отверждения
	Величина AC (1508 см ⁻¹)	Величина AB (1107 см ⁻¹)		
1	1,0163	0,1208	8,4131	0,9249
2	0,8694	0,1089	7,9835	0,9022
3	0,8976	0,1122	8,0000	0,9031
4	0,7130	0,0745	9,5705	0,9809
5	0,5776	0,0633	9,1248	0,9602
6	0,5838	0,0785	7,4369	0,8714
7	0,6351	0,0876	7,2500	0,8603
8	0,7893	0,1195	6,6050	0,8132
9	0,5751	0,0911	6,3128	0,8002
РП-14С	0,7700	0,1700	4,5294	0,6560

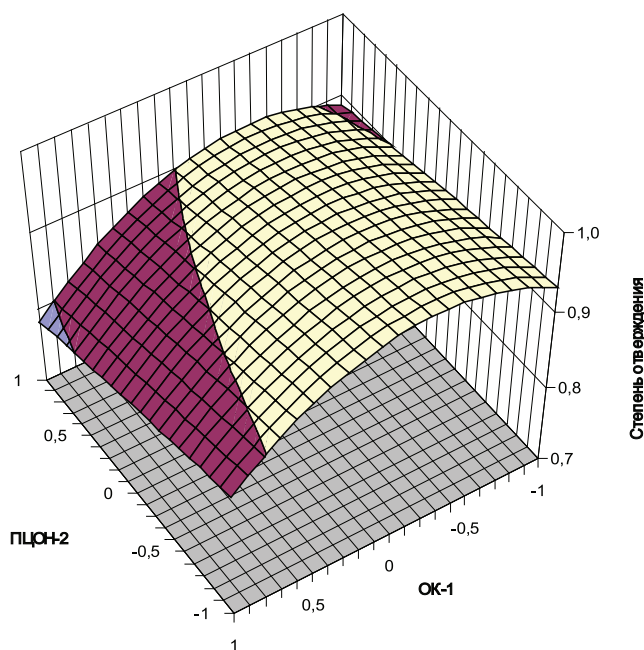


Рис. 3. Степень отверждения винилэфирной смолы РП-14С

На основании экспериментальных данных о степени отверждения можно сделать ряд важных выводов. Во-первых, степень отверждения полимерных композитов составляет 80,02–98,09%, что говорит о небольшом количестве непрореагировавших винильных групп, это ведет к высокой стойкости под действием ультрафиолетового излучения. Во-вторых, отвержденная винилэфирная смола имеет некоторое максимальное значение степени отверждения на рассматриваемой области, а именно 98,09% при содержании ПЦОН-2 в количестве от 0,5 до 1,5 мас. ч. и ускорителя ОК-1 в количестве 3 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы.

Выводы

1. Показано, что в отечественной и зарубежной строительной практике наибольшее применение находят полимербетоны на эпоксидных, фурановых, полиэфирных и карбамидных связующих. Перспективными считаются также материалы на винилэфирных связующих, процессы структурообразования которых к настоящему времени не исследованы.

2. Статья посвящена изучению процессов отверждения винилэфирной смолы методом ИК-спектроскопии. Показано, что при действии на смолы соединений, содержащих подвижный атом водорода, они отверждаются с образованием трехмерных неплавких и нерастворимых продуктов.

3. На ИК-спектрах отвержденной смолы по сравнению с неотвержденной появились новые пики, которые указывают, что полимеризация смолы происходит по винильной группе.

4. Путем применения метода внутреннего стандарта произведена оценка степени отверждения винилэфирных композитов в зависимости от количественного содержания компонентов отверждающей системы.

5. Методом математического планирования экспериментов подобраны оптимальные составы винилэфирных композитов, имеющих относительную степень отверждения более 0,98.

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 электрохими-

чески 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., Коротаяев 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., Коротаяев С.А., Никитин Л.В. Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формования. – 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 stojkosti polimernyh i metallopolimernyh truboprovodnyh materialov v uslovijah vozdejstvija pochvennyh mikroorganizmov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. no. 5–2 (38). pp. 415–421.
2. Bazhanova M.E., Erofeev V.T. Stojkost truboprovodnyh materialov v uslovijah vozdejstvija pochvennyh mikroorganizmov // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo 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 aktivirovannoj vody zatvorenija. 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-neuporjadochennyh kondensirovannyh kompozicionnyh sistem. SPb.: Nauka, 2012. 476 p.
6. Bogatova S.N., Bogatov A.D., Erofeev V.T., Kaznacheev S.V., Zaharova E.A. Issledovanie biologičeskoj stojkosti jepoksidnyh pokrytij // Lakokrasočne materialy i ih primenenie. 2011. no. 3. pp. 42–45.
7. Volgina E.V., Kaznacheev S.V., Erofeev V.T., Kretova V.M. Deformativnost viniljefirnyh kompozitov // Izvestija 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. Biostojkost jepoksidnyh polimerbetonov, modifizirovannyh kamenougolnoj smoloy // Izvestija Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Tehničeskie 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 modifizirovannyh bitumov (tehnologija, svojstva, dolgovečnost). Saransk, 2009. 276 p.
10. Erofeev V.T., Volgina E.V., Kaznacheev S.V., Kretova V.M. Issledovanie pročnosti viniljefirnyh kompozitov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. 2013. no. 4. pp. 081–088.
11. Erofeev V.T. Karkasnye stroitelnye kompozity: Avtoreferat dissertacii na soiskanie učenogo stepeni doktora tehničeskih nauk / Nacionalnyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogareva. Moskva, 1993.
12. Erofeev V.T., Korotaev S. A. Karkasnye tehnologii obzhigovogo materiala s zapolnitelem na stekloobraznom svjazujuščem // Stroitelnye materialy, no. 3 (711), 2014. pp. 88–91.
13. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Laptev G.A. [i dr.]. Modelirovanie svojstv metallobetonov // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 2–17. pp. 3699–3708.
14. Erofeev V.T., Volgina E.V., Kaznacheev S.V., Bogatov A.D., Erykalina I.V. Optimizacija soderžanija komponentov viniljefirnyh kompozitov // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. 2012. no. 1. pp. 22–31.
15. Erofeev V.T., Volgina E.V., Erykalina I.V., Kaznacheev S.V. Optimizacija soderžanija otveržhdajuščih komponentov v viniljefirnyh kompozitah // Izvestija 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. Optimizacija sostavov betonov s primeneniem čislennoogo modelirovanija. 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 karkasnoj struktury rolikovogo formovanija. M.: ASV, 2009. 160 p.
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 s.
19. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Laptev G.A., Erofeev P.S., Merkulov A.I. Jeksperimentalno-teoretičeskoe osnovanie sozdanija metallobetonov s optimalnoj strukturoj i povyšenoj dolgovečnostju // Akademičeskij vestnik Ural-NIiproekt RAASN. 2015. no. 1. pp. 70–76.
20. Erofeev V.T., Sokolova Ju.A., Bogatov A.D. [i dr.]. Jekspoksidnye polimerbetony, modifiziruemye nefljanymi bitumami, kamenougolnoj i karbamidnoj smolami i aminoproizvodstvennymi soedinenijami. M. ASV, 2012. 244 p.
21. Zhelezobetonnye izdelija i konstrukcii: Nauchno-tehničeskij spravocnik / 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 p.
24. Laptev G.A., Gubanov D.A., Erofeev V.T. Optimizacija sostavov matellobetonov na aljuminievom svjazujuščem // Izvestija KГASU, 2012. no. 4. pp. 307–311.
25. Laptev G.A., Potapov Ju.B., Erofeev V.T. Razrabotka tehnologii izgotovlenija metallobetonov // Stroitelstvo i rekonstrukcija. 2015. no. 1 (57). pp. 123–129.
26. Lеснов V.V., Boriskin A.S., Erofeev V.T., Konjashin A.A. Dispersno-armirovannye kompozity dlja dorozhnyh pokrytij i transportnyh sooruzhenij // Transportnoe stroitelstvo. 2007. no. 5. pp. 24.
27. Myshkin A.V., Erofeev V.T. Optimizacija sostavov polijefirakrilatnyh 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.