

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.7./8

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-62-75

Особенности строительного контроля компонентов и конструкции полимерных зон деформационных швов мостовых сооружений

В.И. Мартинсон¹, Ш.Н. Валиев², А.В. Кочетков^{1,*}

¹Владимир Леонидович Мартинсон, Андрей Викторович Кочетков

ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Российская Федерация

*89166914669@mail.ru, soni.81@mail.ru**

²Шерали Назаралиевич Валиев

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва,
Российская Федерация

vshn2014@gmail.com



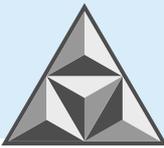
Авторское обследование переходных зон деформационных швов эксплуатируемых мостовых сооружений, устроенных с применением полимербетона, выявило отсутствие нормативных требований на уровне документов национальной системы стандартизации. Подтверждена возможность идентификации состава вяжущего при организации строительного контроля поставляемой продукции требованиям проектной документации, а также определения продуктов химической реакции при твердении полимербетона в переходной зоне деформационных швов мостовых сооружений. Для получения полимербетонной смеси использована жидкая эпоксидная смола низкой вязкости на основе бисфенола с включением отвердителя аминного типа. После смешивания компонентов получается состав, который отверждается и связывается с минеральным наполнителем, обеспечивая изделию высокую прочность, водонепроницаемость, износостойкость и хорошую адгезию к различным основаниям. Полученный материал для мостовых сооружений безопасен для окружающей среды, не вступает в реакцию с различными агентами. Метод инфракрасной спектроскопии позволяет идентифицировать исходные вещества и продукты реакции с вероятностью совпадения 70-97%.

Ключевые слова: мостовые сооружения, полимерные зоны, деформационные швы, контроль качества, инфракрасная спектроскопия, идентификация

Для цитирования:

Мартинсон В.И., Валиев Ш.Н., Кочетков А.В. Особенности строительного контроля компонентов и конструкции полимерных зон деформационных швов мостовых сооружений // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 2. С. 62-75.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5160/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-62-75



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-62-75

Construction control of components and design of polymer zones of bridge expansion joints

V.I. Martinson¹, Sh.N. Valiev², A.V. Kochetkov^{1,*}

¹Vladimir L. Martinson, Andrey V. Kochetkov

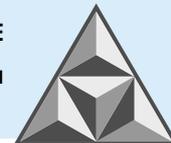
Russian Road Research Institute "ROSDORNII", Moscow, Russia

*89166914669@mail.ru, soni.81@mail.ru**

²Sherali N. Valiev

Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University, Moscow, Russia

vshn2014@gmail.com



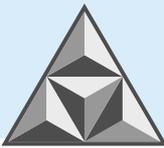
The article considers the construction control peculiarities of components and design of transition polymer zones of bridge structures expansion joints. The authors have examined the transition zones of expansion joints of in-use bridge structures constructed with polymer concrete. The study revealed the lack of regulatory requirements at the national standardization system documents level. The authors confirmed the possibility of binder composition identification at the organisation of construction control of supplied products in accordance with the requirements of design documentation. The authors also confirmed the possibility of determining the products of chemical reaction during curing of polymer concrete in the transition zone of bridge expansion joints. The authors used a low viscosity liquid epoxy resin based on bisphenol with the inclusion of an amine-type hardener to produce a polymer-concrete mixture. When the components are mixed, a composition is obtained that cures and, when bound to mineral aggregate, provides the product with high strength, water resistance, wear resistance and good adhesion to various substrates. The material obtained for bridge constructions is safe for the environment and does not react with various agents. The method of infrared spectroscopy allows identifying the initial substances and reaction products with the probability of coincidence from 70 to 97%.

Keywords: bridge structures, polymer zones, expansion joints, quality control, infrared spectroscopy, identification

For citation:

Martinson, V.I., Valiev, Sh.N. & Kochetkov, A.V. (2024) Construction control of components and design of polymer zones of bridge expansion joints, *Smart Composite in Construction*, 5(2), pp. 62-75.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5160/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-62-75



ВВЕДЕНИЕ

С целью повышения эксплуатационных свойств деформационных швов, связанных с повышением ровности проезжей части в пришовной зоне, повышения надежности мостового полотна и снижения уровня общих строительных издержек устраивают переходные зоны [1-4]. В настоящей работе рассматриваются особенности строительного контроля компонентов в конструкции переходных зон из полимербетона [5-8].

Основное назначение переходной зоны – обеспечение плавного изменения жесткости дорожной одежды при переходе с покрытия на подходах ко шву на конструкции деформационного шва [9-11]. В качестве материала переходной зоны используют полимербетон на основе реакционно-способных смол холодного отверждения с минеральным наполнителем. При этом ровность покрытия в зоне примыкания к конструкциям деформационного шва достигается применением литых смесей.

Основные физико-механические показатели полимербетона переходной зоны (прочность и др.) превышают аналогичные показатели асфальтобетонов более чем в 10 раз [8].

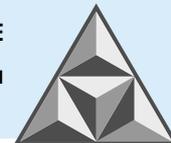
Согласно ОДМ 218.2.002-2009 «Методические рекомендации по применению современных материалов в сопряжении дорожной одежды с деформационными швами мостовых сооружений», при движении по одной полосе ≥ 5 тыс. автомобилей/сут. в примыкании покрытия к деформационному шву (металлу или бетону) следует устраивать переходной участок шириной 30-50 см по всей длине шва. При этом верхний слой покрытия выполняют из более прочного материала – полимерасфальтобетона или мастично-щебеночной смеси.

Анализ зарубежных источников [11-17] отражает достигнутый научно-технический уровень строительного контроля. В частности, требования к материалу переходных зон определены зарубежными нормами – европейским стандартом ETAG 032 «Руководство по разработке технических свидетельств на деформационные швы для автодорожных мостов. Части 1-8», британским стандартом DMRB V.2 S.3 P.6 BD 33/94 «Руководство по проектированию для дорог и мостов. Том 2. Секция 3. Часть 6. BD 33/94. Деформационные швы для автодорожных мостов», австрийским стандартом RVS/RVE 15.04.51 «Мосты. Конструкции для мостов. Деформационные швы».

Однако обследование переходных зон деформационных швов мостовых сооружений, устроенных с применением полимербетона, выявило отсутствие нормативных требований на уровне документов национальной системы стандартизации. Устройство зон с нарушениями требований безопасности дорожного движения не позволяет, в частности, обеспечить малозумный проезд транспортных средств. На рис. 1 показано, что гладкая поверхность не обладает текстурой макрошероховатости; также выявлена неодинаковая глубина колеи на переходной зоне полос наката.



Рис. 1. Повреждения переходных зон деформационных швов эксплуатируемых мостовых сооружений
Fig. 1. Damage to transition zones of expansion joints of in-use bridge structures



Результаты обследования подтвердили недостаточную адгезию материала переходных швов и ездового полотна мостового сооружения, а также неоднородность принимаемых технических решений по содержанию и ремонту переходных зон и сопряжений их с другими элементами сооружения.

По своей структуре материал переходных зон принципиально отличается от асфальтобетона. В нем отсутствуют поры, он не требует уплотнения и формирования каркаса укаткой, характеризуется холодным режимом отверждения реакционной двухкомпонентной смеси (для асфальтобетона используют «горячую» технологию). Говоря о полимербетонах, мы подразумеваем, прежде всего, наличие переходных зон с использованием химически синтезированных веществ с воспроизводимыми химическими, физическими и механическими показателями. Проверка соответствия показателей на месте производства работ представляется избыточной; достаточно идентификации компонентов и конструкции переходных зон деформационных швов мостовых сооружений.

На практике установлены случаи отклонения применяемых дорожных материалов по вине подрядных организаций или поставщиков. Это обусловлено требованиями заказчиков к материалам, указанным только в проектной документации. В свою очередь, добросовестное исполнение проекта производства работ по устройству переходных зон из полимерных материалов холодного отверждения исключает риски отклонения по показателям качества.

Следует отметить, что применение химически синтезированных вяжущих преследует цель снижения риска недостижения качественных характеристик конструктивных элементов мостовых сооружений, возникающего ввиду уменьшения влияния долевого разброса компонентов на соответствующие показатели.

Ранее [9] авторами установлено влияние разброса долей составляющих смесей противогололедных материалов на риск совершения дорожно-транспортных происшествий. В аналогичном ключе поставлена задача – установить влияние вариативности гранулометрического состава заполнителей на свойства полимербетона.

В таком виде цель работы и научная проблема сформулированы впервые.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Проведена отработка метода идентификации материалов и получаемых из них конструкций на примере материала марки ВЕТОFLEX® – двухкомпонентного бетона холодного отверждения, разработанного для анкеровки и создания переходных зон деформационных швов мостовых и надземных сооружений, подвергаемых транспортным нагрузкам. Материал воспринимает предельно допустимую нагрузку после отверждения в течение 12-24 ч. Поверхностный слой подходит для мостовых сооружений: он устойчив к износу и действию кислот, растворов солей, масел и бензина, хорошо сцепляется со сталью и бетоном, обладает пластично-эластичными свойствами в широком диапазоне температур при относительно малом коэффициенте упругости. По сравнению с эпоксидными смолами и цементом, материал менее хрупок, что позволяет при его использовании избежать поперечных трещин в пришовной зоне.

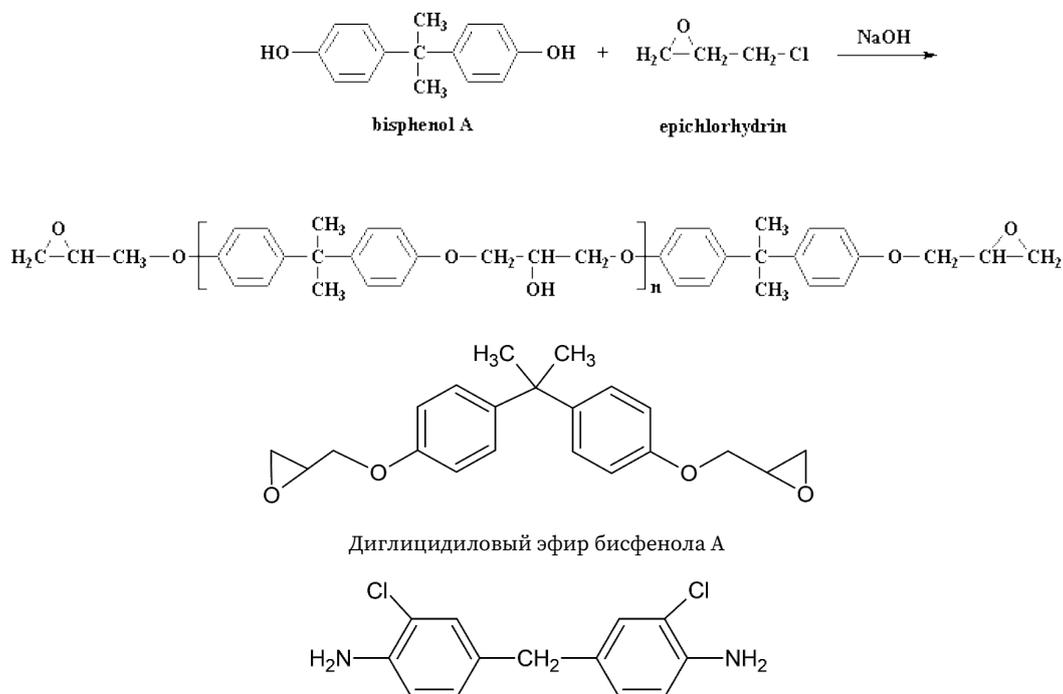
В СТО 41986898-02-2024 «Конструкция сопряжений дорожной одежды мостовых конструкций с деформационными швами с металлическими окаймлениями из полимербетона «Бетофлекс». Правила устройства» отражены требования к минеральным материалам и характеристикам вяжущего. Однако методы идентификации химического состава вяжущего не приводятся. В то же время их разработка необходима для решения задач нормирования и совершенствования методов контроля качества путем идентификации



компонентов в конструкции переходных полимерных зон деформационных швов мостовых сооружений.

На физико-химический анализ в аналитическую химическую лабораторию поступили (по данным заказчика) два компонента – эпихлоргидрин и бисфенол.

Формулы применяемых компонентов полимербетона:



Продукт взаимодействия солянокислого о-хлоранилина с формальдегидом – 3,3'-дихлор-4,4'-диаминодифенилметан (модифицированный отвердитель аминного типа)

Образец из полимербетона ВЕТОFLEX представлен ниже (см. рис. 2).



Рис. 2. Образец из полимербетона ВЕТОFLEX холодного отверждения
Fig. 2. BETOFLEX cold-cured polymer concrete sample

Идентификацию соединений производили на ИК-Фурье спектрометре ФТ-801 (ООО НПФ «СИМЕКС», Россия) с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Такой спектрометр предназначен для регистрации спектров поглощения твердых, жидких и газообразных веществ в ближней и средней инфракрасной области с последующей их идентификацией, а также качественного и количественного анализа смесей нескольких компонентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований получены спектры ИК-НПВО химических соединений № 1-3 (рис. 3-6, табл. 1-3).

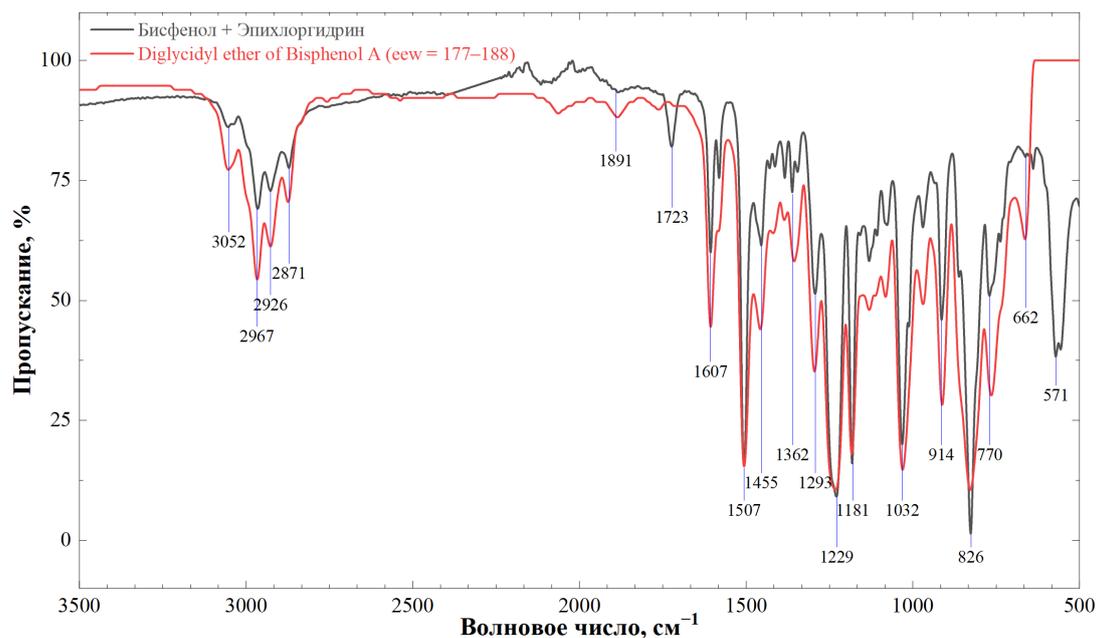
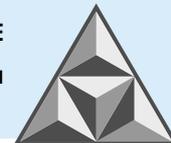


Рис. 3. Инфракрасный спектр соединения № 1 (черный) в сравнении с библиотечным спектром диглицидилового эфира бисфенола А (красный). Вероятность совпадения – более 97%

Fig. 3. Infrared spectrum of compound No. 1 (black) and comparison with the library spectrum of diglycidyl ether of bisphenol A (red). The match probability is over 97%

Таблица 1. Расшифровка полос пропускания соединения № 1

Table 1. Decoding of bandwidths of connection No. 1

Полоса, см ⁻¹	Структура	Тип колебаний, связь	Зависимые полосы, см ⁻¹
3052	RCH=CH ₂	Валентные, =C-H	914
3052	Ar-H	Валентные, Ar-H	826 → 770
2967	RCH ₂ CH ₃	Валентные, C-H	2871 → 1455 → 1362
2871	RCH ₂ CH ₃	Валентные, C-H	2967 → 1455 → 1362
2871	-CH ₃	Валентные, -CH ₃	2967
2871	RCO-OH	Димер OH	1723 → 1293
1723	RCHO	Валентные, C=O	н/д
1607	Ar	Валентные, C=C	н/д
1507	C-O	Асимм. валентные, C-O	1362
1455	RCH ₂ CH ₃	Валентные, CH ₂ и CH ₃	2967 → 2871 → 1362
1455	C-C в кольце	Валентные, C-C в кольце	3052 → 1067
1362	C-H	Маятниковое, C-H	1455
1293	RCO-OH	Валентные, C-O	2871 (OH-димер)
1229	Ar-O-R	Валентные, C-O	826 → 770
1229	CH ₂ Cl	Веерн. внеплоскостн., -CH ₂ Cl	1181 → 826 → 770
1181	CH ₂ Cl	Веерн. внеплоскостн., -CH ₂ Cl	1229 → 826 → 770
1032	RCO-OH	Валентные, C-O	2871 (OH-димер)
914	RCH=CH ₂	Внеплоскостн., =CH	3052
826	RCH=CH ₂	Внеплоскостн., =CH	3052
826	R-Cl	Валентные, C-Cl	1229 → 1181 → 770
770	R-Cl	Валентные, C-Cl	1229 → 1181 → 826
662	Полоса относится к тройной связи углерод - углерод, в данном случае возможно наличие примесных соединений в исследуемом образце		
571	Связь характерна для R - Br, но бромидов в рассматриваемом соединении нет; возможно наличие примесных соединений в исследуемом образце		

Примечание к табл. 1: Ar – ароматический углеводород, R – радикал; Асимм. валентные – асимметрические валентные колебания; Веерн. внеплоскостн. – веерные внеплоскостные деформационные колебания; Внеплоскостн. – внеплоскостные колебания; н/д – данные отсутствуют.

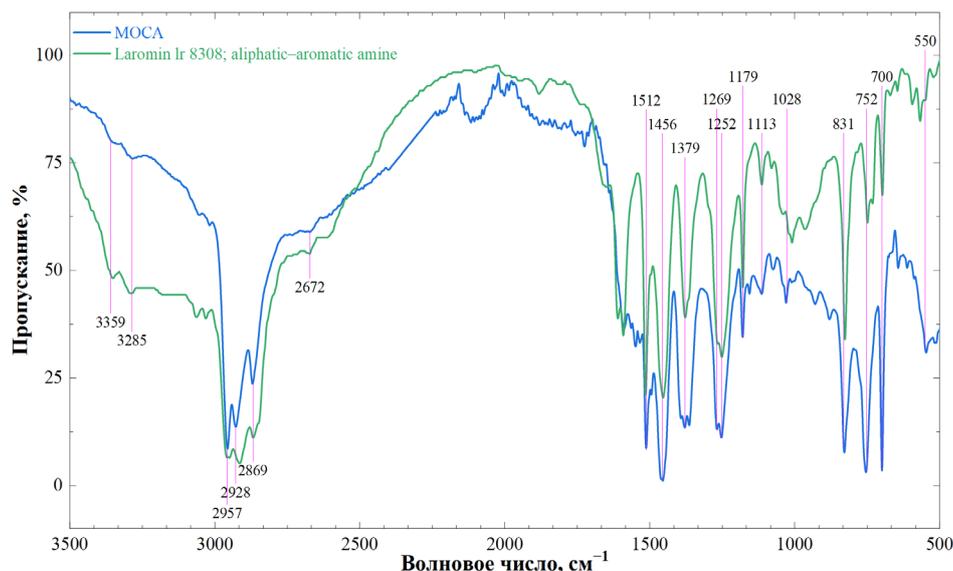
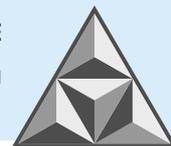


Рис. 4. Инфракрасный спектр соединения № 2 (синий) в сравнении с библиотечным спектром алифатического-ароматического амина (зеленый). Вероятность совпадения – более 92%

Fig. 4. Infrared spectrum of compound No. 2 (blue) and comparison with the library spectrum of an aliphatic-aromatic amine (green). The match probability is over 92%

Таблица 2. Расшифровка основных полос соединения № 2 в инфракрасном спектре

Table 2. Decoding of the main bands of compound No. 2 in the infrared spectrum

Полоса, см ⁻¹	Структура	Тип колебаний, связь	Зависимые полосы, см ⁻¹
3359	N-H	н/д	н/д
3285	N-H	н/д	н/д
2957	RCH ₂ CH ₃	Валентные, CH	2869 → 1456 → 1379
2928	-CH ₂ -	-CH ₂ -	н/д
2869	RCH ₂ CH ₃	Валентные, CH	2957 → 1456 → 1379
1600	C-C в кольце	Валентные, C-C в кольце	1456
1512	N-O	Ассим. валентные, N-O	1379 → 1290
Зависит от метода получения компонента 2, но, возможно, не все группы NO были восстановлены по реакции: RNO ₂ + 3H ₂ → RNH ₂ + 2H ₂ O			
1456	C-C в кольце	Валентные, C-C в кольце	1600
1456	RCH ₂ CH ₃	Валентные, CH ₂ и CH ₃	2957 → 2869 → 1379
1379	RCH ₂ CH ₃	Валентные, CH ₂ и CH ₃	2957 → 2869 → 1456
1252	ArNH ₂	Валентные Ar-N	831 → 752 → 700
1252	CH ₂ -Cl	Веерн. внеплоскостн., -CH ₂ Cl	1179 → 831 → 752
1179	CH ₂ -Cl	Веерн. внеплоскостн., -CH ₂ Cl	1252 → 831 → 752
1113	н/д	н/д	н/д
1028	RCO-OH	Валентные, C-O	2869 (димер OH)
831	R-Cl	Валентные, C-Cl	1252 → 1179 → 752
831	<i>para</i> -Ar	Внеплоскостн., C-H	1600 → 1456 → 752
752	<i>ortho</i> -Ar	Внеплоскостн., C-H	1600 → 1456 → 831
752	R-Cl	Валентные, C-Cl	1252 → 1179 → 831
700	Ar	Внеплоскостн., C-H	1252 → 831

Также исследован образец трехкомпонентного полимербетона ВЕТОFLEX с вяжущим на основе компонентов А, В и минерального заполнителя. Компонент А представляет собой высокомолекулярный продукт реакции эпихлоргидрина и бисфенола А в смеси с пластифицирующим агентом.

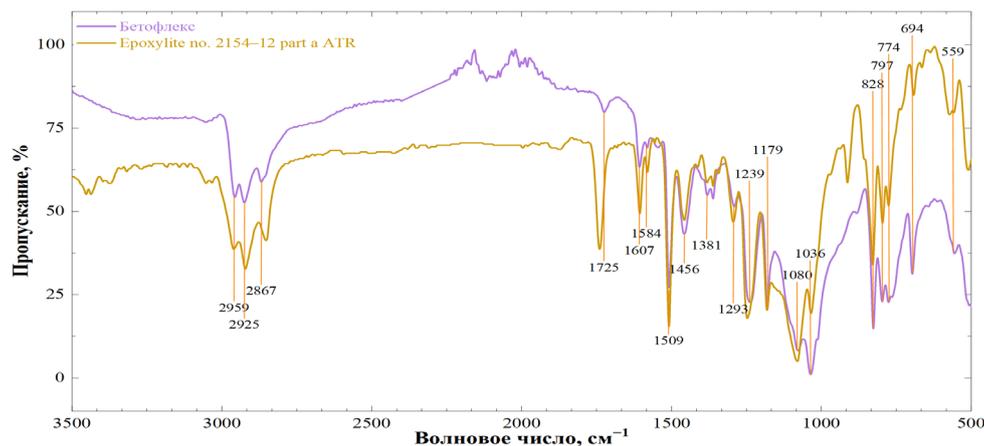
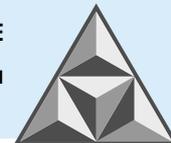


Рис. 5. Инфракрасный спектр соединения № 3 (фиолетовый) в сопоставлении с соединением EpoxyLite (горчичный цвет). Вероятность совпадения – более 80%

Fig. 5. Infrared spectrum of compound No. 3 (purple) and comparison with EpoxyLite compound (mustard colour). The match probability is over 80%

Таблица 3. Расшифровка полос соединения № 3 в инфракрасном спектре

Table 3. Decoding of the main bands of compound No. 3 in the infrared spectrum

Полоса, см ⁻¹	Имеется в соединении	Структура	Тип колебаний, связь	Зависимые полосы, см ⁻¹
2959	А	RCH ₂ CH ₃	Валентные, СН	2867 → 1456 → 1381
2925	А, Б	-CH ₂ -	-CH ₂ -	н/д
2867	А, Б	RCH ₂ CH ₃	Валентные, СН	2959 → 1456 → 1381
1725	А	RCHO	Валентные, С=О	н/д
1607	А, Б	Ar	Валентные, С=C	н/д
1607	А, Б	С-С в Ar	Валентные, С-С в кольце	1456
1584	-	R-NH ₂	Плоскостное, R-NH ₂	1036 → 797
1509	А, Б	N-O	Ассим. валентные, N-O	1290
1456	А, Б	RCH ₂ CH ₃	Валентные, CH ₂ и CH ₃	2959 → 2867 → 1381
1456	А, Б	С-С в Ar	Валентные, С-С в кольце	1607
1381	Б	RCH ₂ CH ₃	Валентные, CH ₂ и CH ₃	2957 → 2869 → 1456
1293	А	RCO-OH	Валентные, С-О	2867 (димер ОН)
1239	А	Ar-O-R	Валентные, С-О	828 → 774
1239	А	CH ₂ Cl	Веерн. внеплоскостн., -CH ₂ Cl	1179 → 828 → 774
1179	А, Б	CH ₂ -Cl	Веерн. внеплоскостн., -CH ₂ Cl	1239 → 828 → 774
1080	А, Б	R-O-R	Валентные, С-О	н/д
1036	А, Б	RCO-OH	Валентные, С-О	2867 (димер ОН)
1036	Б	RNH ₂	Валентные, С-N	1584 → 797
828	А, Б	RCH=CH ₂	Внеплоскостн., =CH	н/д
828	А, Б	para-Ar	Внеплоскостн., С-H	1607 → 1456 → 752
828	А, Б	R-Cl	Валентные, С-Cl	1239 → 1179 → 797
797	-	R-Cl	Валентные, С-Cl	1239 → 1179 → 774
797	-	R-NH ₂	Веерн. внеплоскостн., R-NH ₂	1584 → 1036
774	-	R-Cl	Валентные, С-Cl	1179 → 828 → 797
694	-	R-NH ₂	Веерн. внеплоскостн., R-NH ₂	н/д

Он состоит из смеси эпоксидных смол холодного отверждения, согласно ТУ 20.16.40-001-41986898-2023.

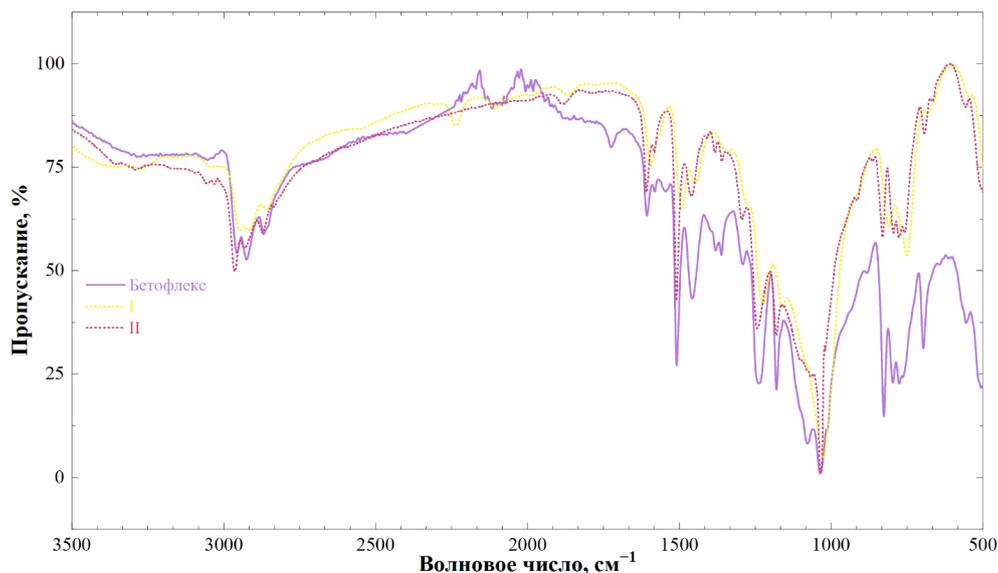


Рис. 6. Инфракрасный спектр соединения № 3 (сиреневый) и сравнение с другими (пунктир), полученными объединением частей спектров соединений:

I (желтый) – $0.33 \times [\text{easypoxy k-20 (cured)}] + 0.38 \times [\text{Methyl-d3 sulfoxide Dimethyl sulfoxide-d6}] + 0.19 \times [\text{Ken-React Lica 38}]$;
 II (бирюзовый) – $0.36 \times [\text{easypoxy k-20 (cured)}] + 0.28 \times [\text{Butyl Acid Phosphate}]$. Вероятность совпадения – более 70%

Fig. 6. Infrared spectrum of compound No. 3 (lilac) and comparison with others (dashed) obtained by combining parts of the compounds:

I spectra (yellow) – $0.33 \times [\text{easypoxy k-20 (cured)}] + 0.38 \times [\text{Methyl-d3 sulfoxide Dimethyl sulfoxide-d6}] + 0.19 \times [\text{Ken-React Lica 38}]$;
 II (turquoise) – $0.36 \times [\text{easypoxy k-20 (cured)}] + 0.28 \times [\text{Butyl Acid Phosphate}]$. The match probability is over 70%

Компонент *Б* представляет собой модифицированное соединение аминного типа (ТУ 20.16.54-002-41986898-2023), которое применяется как отвердитель жидкого эпоксидного вяжущего.

Минеральный наполнитель *В* представляет собой смесь нерудных материалов (песок, щебень, кварцевая мука) различных фракций, взятых в определенных пропорциях по ТУ 08.12.12-003-41986898-2023.

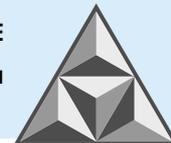
После смешивания компонентов *А* и *Б* получается состав, который в результате химической реакции является связующим для минерального наполнителя, обеспечивая изделию высокую прочность, водонепроницаемость и износостойкость.

Согласно проведенным исследованиям, жидкая эпоксидная смола низкой вязкости на основе бисфенола А после смешения с аминным отвердителем участвует в быстрой реакции отверждения, связывая минеральный наполнитель в монолитную конструкцию с высокими эксплуатационными свойствами, пригодными для использования в производстве мостовых сооружений. Установлено минимальное влияние примесей в исходных компонентах на результат идентификации их химического состава. Вероятность совпадения для компонентов вяжущего полимербетона никогда не была ниже отметки 92%.

Вероятность совпадения инфракрасного спектра образца полимербетона при сравнении его с другими спектрами, полученными объединением частей ИК спектров, составила более 70%.

ВЫВОДЫ

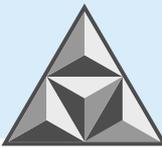
1. Обследование переходных зон деформационных швов мостовых сооружений, устроенных с применением полимербетона, выявило отсутствие нормативных требований к ним на уровне национальной системы стандартизации.



2. Принципиальное отличие вяжущих для полимербетонов заключается в применении химически синтезированных веществ с заранее установленной формулой и воспроизводимыми химическими, физическими и механическими свойствами. На практике подтверждена возможность применения спектрального метода для идентификации состава вяжущего при организации строительного контроля поставляемой продукции в соответствии с требованиями проектной документации, а также определения продуктов, образующихся при твердении полимербетона в переходной зоне деформационных швов мостовых сооружений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Валиев Ш.Н., Каменских А.Н., Петрович И.Г., Журавлев П.А.** Полимерные напыляемые материалы для устройства гидроизоляции мостовых сооружений. М.: ООО «Строинформиздат», 2022. 187 с.
2. **Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Жаденова С.В.** Систематизация и сравнительный анализ различных типов гидроизоляции, применяемых на автодорожных мостовых сооружениях // *Интернет-журн. «Науковедение»*. 2013. № 5. Идент. ном. ст.: 56ТВН513.
3. **Овчинников И.Г., Кочетков А.В., Макаров В.Н., Овсянников С.В.** Новые материалы и изделия в мостостроении. М., 2008. 80 с.
4. **Янковский Л.В., Кочетков А.В., Трофименко Ю.А.** Методика выбора материала для устройства шероховатых слоев дорожного покрытия // *Науч. вестник Воронеж. ГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2015. № 1(37). С. 99-111.
5. **Янковский Л.В., Кокодева Н.Е., Трофименко Ю.А., Валиев Ш.Н., Шашков И.Г.** Применение цифрового микроскопа при мониторинге пешеходных покрытий мостовых сооружений // *Строительные материалы*. 2015. № 10. С. 75-79.
6. **Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Илюшкин В.А., Овчинников И.И., Овсянников С.В.** Инновационные технологии устройства мостового полотна на современных мостовых сооружениях. Саратов: ИЦ «Рата». 2008. 204 с.
7. **Корнеев А.Д., Борков П.В., Бондарев А.Б., Прозорова Л.А.** Прогнозирование циклической долговечности полимербетонов в элементах конструкций транспортных сооружений // *Вестник Волгоград. гос арх.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2011. № 21(40). С. 72-77. EDN NDZJHH.
8. **Бондарев Б.А., Борков П.В., Комаров П.В., Бондарев А.Б.** Экспериментальные исследования циклической долговечности полимерных композиционных материалов // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6. С. 136. EDN TODMCJ.
9. **Аржанухина С.П., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Глухов Т.А. и др.** Выбор требований к противогололедным материалам для зимнего содержания автомобильных дорог мегаполиса // *Вода: химия и экология*. 2013. № 4(58). С. 106-115.
10. **Di Yu, Wensheng W., Yongchun Ch., Yafeng G.** Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis // *Journ. Traffic and Transport. Eng. (English Edition)*. 2016. Vol. 3, no. 5. P. 412-426. DOI: 10.1016/j.jtte.2016.09.002.
11. **Yongchun Cheng, Di Yu, Guojin Tan and Chunfeng Zhu.** Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles // *Materials*. 2018. Vol. 11, no 11. P. 2148. DOI: 10.3390/ma11112148.
12. **Celauro C., Praticò F.** Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 170. P. 245-253. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058
13. **Yafeng G., Haipeng Bi, Chunyu L., Shurong Wang.** Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology // *Appl. Sci.* 2018. Vol 8, no 11. P. 2191. DOI: 10.3390/app8112191.
14. **Xiao Q., Aiqin Sh., Yinchuan G., Zhennan Li.** Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers // *Construction and Building Materials* 2018. Vol. 159. P. 508-516. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012.
15. **Yafeng G., Haipeng Bi, Zhenhong T., Guojin T.** Pavement Performance Investigation of Nano-TiO₂/CaCO₃ and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles // *Appl. Sci.* 2018. Vol. 8, no 12. P. 2581. DOI: 10.3390/app8122581.



16. **Bondarev B.A.** An Outlook on the Application of Glass-Reinforced Plastic and Polymer Concrete Components in Bridge Construction / B. A. Bondarev, P. V. Borkov, A. B. Bondarev // 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016), Chelyabinsk, 19-20 мая 2016 года. Chelyabinsk: Elsevier Ltd, 2016. P. 1617-1622. DOI 10.1016/j.proeng.2016.07.139. EDN XFHSIX.
17. **Kaldas E.A.** Sillatekkide asfaltkatendid (Asphalt pavements on bridge decks). EAPA arvamusraport. 2013.
18. Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels / Holter, Karl Gunnar // «SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Regio» ITA WTC. 2015. Congress and 41st General Assembly, May 22-28.

Поступила в редакцию 01.04.2024

Одобрена после рецензирования 03.06.2024

Принята к опубликованию 10.06.2024

REFERENCES

1. **Kamenskikh, A.N., Valiev, Sh.N., Petrovich, I.G. & Zhuravlev, P.A.** (2022) Polimernye napylyaemye materialy dlya ustroystva gidroizolyatsii mostovyh sooruzhenij [Polymeric sprayed materials for waterproofing of bridge structures]. Moscow: Stroinformizdat (in Russian).
2. **Ovchinnikov, I.I., Ovchinnikov, I.G., Valiev, Sh.N. & Zhadenova, S.V.** (2013) Systematization and comparative analysis of various types of waterproofing used on road bridge structures, *Internet-zhurn. «Naukovedenie»*, (5) [online]. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/56tvn513> (in Russian).
3. **Ovchinnikov, I.G., Kochetkov, A.V., Makarov, V.N. & Ovsyannikov, S.V.** (2008) Novye materialy i izdeliya v mostostroenii [New materials and products in bridge construction]. Moscow: INFORMAVTODOR (in Russian).
4. **Yankovsky, L.V., Kochetkov, A.V. & Trofimenko, Yu.A.** (2015) Methodology of material selection for the device of rough layers of road pavement, *Nauch. vestnik Voronezh. GASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura [Scientific Bulletin of Voronezh. VSUACE. Ser.: Construction and Architecture]*, 1(37), pp. 99-111 (in Russian).
5. **Yankovsky, L.V., Kokodeeva, N.E., Trofimenko, Yu.A., Valiev, Sh.N. & Shashkov, I.G.** (2015) The use of a digital microscope when monitoring macro-roughness of pavements of pedestrian bridge structures, *Stroitel'nye materialy [Construction materials]*, (10), pp. 75-79 (in Russian).
6. **Ovchinnikov, I.G., Makarov, V.N., Ilyushkin, V.A., Ovchinnikov, I.I. & Ovsyannikov, S.V.** (2008) Innovatsionnye tekhnologii ustroystva mostovogo polotna na sovremennyh mostovyh sooruzheniyakh [Innovative technologies of bridge deck construction on modern bridge structures]. Rata, Saratov (in Russian).
7. **Korneev, A.D., Borkov, P.V., Bondarev, A.B. & Prozorova, L.A.** (2011) Forecasting of cyclic durability polymerconcrete in elements of designs of transport constructions, *Vestnik Volgograd. gos. arkh.-stroyit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Ser.: Construction and Architecture]*, 21(40), pp. 72-77 (in Russian).
8. **Bondarev, B.A., Borkov, P.V., Komarov, P.V. & Bondarev A.B.** (2012) Experimental studies of cyclic durability of polymer composite materials, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, (6), p. 136 (in Russian).
9. **Arzhanukhina, S.P., Garibov, R.B., Kochetkov, A.V., Yankovsky, L.V. & Glukhov, T.A. et al.** (2013) Selection of demands on de-icing agents for metropolis roads, *Voda: khimiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]*, 4(58), pp. 106-115 (in Russian).
10. **Di, Yu, Wensheng, W., Yongchun, Ch. & Yafeng, G.** (2016) Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis, *Journ. Traffic and Transport. Eng. (English Edition)*, 3(5), pp 412-426. DOI: 10.1016/j.jtte.2016.09.002.
11. **Yongchun, Cheng, Di, Yu, Guojin, Tan & Chunfeng, Zhu** (2018). Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles Materials. DOI: 10.3390/ma11112148.
12. **Celauro, C. & Praticò F.** (2018) Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses, *Construction and Building Materials*, 170, pp 245-253. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058



13. **Yafeng, G., Haipeng, Bi & Chunyu, L.** Shurong Wang (2018) Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology, *Appl. Sci.*, 8(11), p. 2191. DOI: 10.3390/app8112191.
14. **Xiao, Q., Aiqin, Sh., Yinchuan, G. & Zhennan, Li.** (2018) Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers, *Construction and Building Materials*, 159, pp 508-516. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012.
15. **Yafeng, G., Haipeng, Bi, Zhenhong, T. & Guojin, T.** (2018) Pavement Performance Investigation of Nano-TiO₂/CaCO₃ and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles, *Appl. Sci.*, 8(12), p. 2581. DOI: 10.3390/app8122581.
16. **Bondarev, B.A., Borkov, P.V. & Bondarev, A.B.** (2016) An Outlook on the Application of Glass-Reinforced Plastic and Polymer Concrete Components in Bridge Construction. 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016), Chelyabinsk, Elsevier Ltd, pp. 1617-1622. DOI 10.1016/j.proeng.2016.07.139.
17. **Kaldas, Eestindanud Aleksander** (2013) Sillatekkide asfaltkatendid (Asphalt pavements on bridge decks). EAPA arvamustraport.
18. **Holter, Karl Gunnar** (2015) Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels. «SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Regio» ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly.

Received 01.04.2024

Approved after reviewing 03.06.2024

Accepted 10.06.2024