



Юнис Башир



Токарев М. Н.



Савин А. Б.



Муна Абдалхкем

**Юнис Башир**, к.т.н.,  
доцент кафедры строительной механики,  
Харьковский национальный университет строительства  
и архитектуры (ХНУСА), ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002,  
e-mail: docbasheer01@gmail.com, +38 (093) 6610494,

**Токарев М. Н.**, к.т.н., доцент,  
Харьковский национальный университет строительства  
и архитектуры (ХНУСА), ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002,  
e-mail: mixtoker@meta.ua, тел.: +38 (098) 2142600

**Савин А. Б.**, к.т.н., доцент,  
Харьковский национальный университет строительства  
и архитектуры (ХНУСА), ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002,  
e-mail: sint1@3skharkov.ua, тел.: +38 (093) 3918610

**Муна Абдалхкем**, аспирант,  
Харьковский национальный университет строительства  
и архитектуры (ХНУСА), ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002,  
e-mail: sesonoor@yhoo.com, тел.: +38 (093) 2887700

**Basheer N. Younis**, Ph. D.,  
assistant professor of structural mechanics Department,  
Kharkiov National University of Construction and Architecture,  
Str. Sumy, 40, Kharkov, 61002,

e-mail: docbasheer01@gmail.com, +38 (093) 6610494,

**Tokarev Michael**, Ph.D , asst. prof.,  
Kharkiov National University of Construction and Architecture,  
Str. Sumy, 40, Kharkov, 61002,  
e-mail: mixtoker@meta.ua, тел.: +38 (098) 2142600

**Savin Oleksandr**, Ph.D , asst. prof.,  
Kharkiov National University of Construction and Architecture,  
Str. Sumy, 40, Kharkov, 61002,  
e-mail: sint1@3skharkov.ua, тел.: +38 (093) 3918610

**Muna Abdalhkem**, graduate student,  
Kharkiov National University of Construction and Architecture,  
Str. Sumy, 40, Kharkov, 61002,  
e-mail: sesonoor@yhoo.com, тел.: +38 (093) 28877-00

## РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЭПОКСИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЛИВИИ

### РОЗРОБКА МОДИФІКОВАНОЇ ЕПОКСИДНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ПРИДАТНОЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНОЇ ЗОНИ ЛІВІЇ

### DEVELOPMENT OF MODIFIED EPOXY COMPOSITION FOR REPAIRING CONSTRUCTION IN LIBYA (HARSH ENVIRONMENTAL CONDITIONS)

**Анотация.** В процессе эксплуатации на применяемую для реконструкции городов Ливии полимерную композицию воздействуют одновременно как циклические нагрузки, высокие температуры, так и агрессивные условия окружающей среды. Существующие полимерные композиции оказываются неэффективными. Использование разработанной модернизированной смеси отвердителей позволяет повысить жизнеспособность композиции при повышенных температурах до 60 °С и увеличить термостойкость композиции (температура стеклования  $T_g = 95$  °С) при сохранении удовлетворительной прочности.

**Ключевые слова:** эпоксидная композиция, термостойкость, циклические нагрузки, агрессивная среда.

**Анотация.** В процесі експлуатації на застосовувану для реконструкції міст Лівії полімерну композицію впливають одночасно як циклічні навантаження, високі температури, так і агресивні умови навколишнього середовища. Існуючі полімерні композиції виявляються не ефективними. Використання розробленої модернізованої суміші затверджувачів дозволяє підвищити життєздатність композиції при підвищених температурах до 60 °С і збільшити термостійкість композиції (температура склування  $T_g = 95$  °С) при збереженні задовільної міцності.

**Ключові слова:** епоксидна композиція, термостійкість, циклічні навантаження, агресивне середовище.

**Annotation.** It was developed polymer composition for reconstructing the Libyan cities, this composite material showed susceptibility to withstand the high temperature, harsh environmental conditions and cyclic load. Existing polymer compositions are not effective. Using a mixture of the upgraded developed curatives improves viability composition at elevated temperatures up to 60 °C and increase the thermal stability of the composition (a glass transition temperature  $T_g = 95$  °C) while maintaining a satisfactory strength.

**Keywords:** epoxy composition, heat resistance, cyclic loading, aggressive environment.

#### Постановка проблемы и её актуальность

Повреждения бетонных и железобетонных конструкций – одна из острых и вечно актуальных тем в строительной индустрии. Различные виды дефектов возникают на каждом этапе жизненного цикла конструкций; начиная от момента изготовления, при транспортировке и заканчивая поздними сроками эксплуатации. Трещины и повреждения могут образовываться почти в любой конструкции при воздействии нагрузки или ударов, в результате развития внутренних напряжений, от усадки. Характерными дефектами бетонных и железобетонных конструкций являются: продольные и поперечные трещины; выбоины, отверстия в бетоне; трещины, сколы и осыпание бетона

[]. Возможность качественной реставрации дефектных зон бетонных и железобетонных конструкций вырастает в проблему большого технического и экономического значения.

Для ремонта и усиления строительных конструкций активно применяют полимерные материалы. Полимерные материалы применяют, как правило, в виде многокомпонентных композиций, содержащих кроме эпоксидных смол и отвердителей, различные пластификаторы, наполнители, пигменты, антипирены, синергисты и другие функциональные добавки [1]. Преимуществом полимерных композиций является то, что различные по составу композиции могут быть использованы в качестве герметизирующего и гидроизоляционного мате-

риала при восстановлении поврежденных участков элементов бетонных и железобетонных конструкций. Однако более широкое применение полимерных композиционных материалов в строительной индустрии сдерживает их повышенная пожарная опасность, низкая теплостойкость [2-4]. Особый научный интерес представляют тепловые деформации, которые образуются в результате нестандартных высоких температур, в результате чего происходит интенсивный процесс деструкции полимеров (процесс многостадийный, имеющий цепной характер) вследствие чего тепловая деформация, модуль упругости и прочность имеют сложную зависимость от закона изменения температуры во времени [5].

**Постановка задачи исследования**

В связи с этим актуальным научным направлением становится разработка эффективных мер по восстановлению и реконструкции строительных конструкций эксплуатируемых в условиях высоких температур и агрессивных сред на примере климатических условий Ливии за счёт разработанного модифицированного высокопрочного синтетического полимера – полимерной эпоксидной композиции.

**Основной материал**

Ранее проведенный анализ [7] влияния особенностей засушливого климата Ливии (рис.1) поставил под угрозу надёжность эксплуатации реконструированных железобетонных конструкций полимерными композициями ввиду воздействия высоких температур и агрессивной среды.

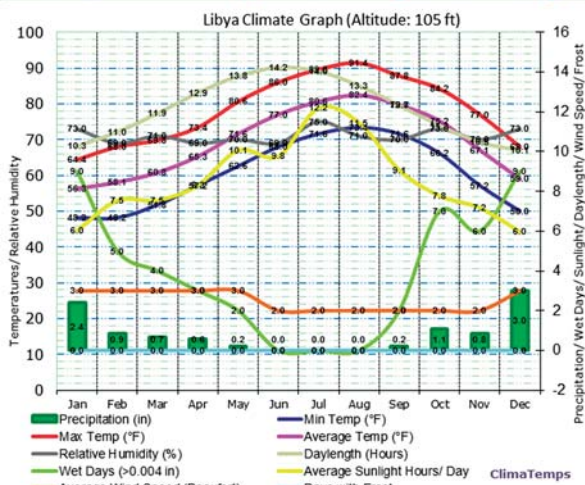
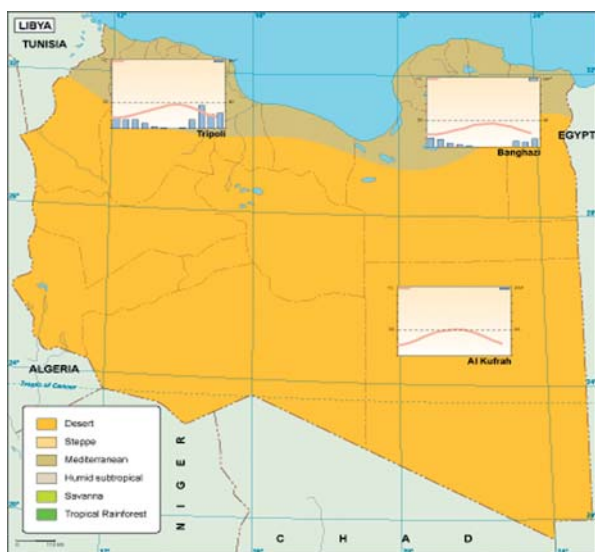


Рис. 1. Климатические особенности Ливии

Анализ эксплуатации строительных конструкций в условиях влияния специфических климатических условий Ливии показал, что на их техническое состояние оказывает существенное влияние более не механический износ конструкций, а процесс старения и износа конструкций под действием факторов окружающей среды, что приводит к невозможности обеспечения заданных сроков эксплуатации. Под тепловым воздействием окружающей среды в железобетонных и бетонных конструкциях формируются неоднородные температурные поля, вызывающие различные деформации.

Основные факторы, воздействующие на полимерные композиции, и виды деструкции (деформации) в процессе эксплуатации продукции при определенных условиях в течение заданного срока выявлены и представлена в табл. 1.

Таблица 1.

**Деструкции, вызванные агрессивными факторами эксплуатации полимерных композиций в условиях Ливии**

Факторы, воздействующие на изделия, восстановленные с помощью полимерных композиций	Виды деструкции
Тепло и кислород	Термоокислительная (тепловое старение)
УФ-излучение	Фотодеструкция
Влага	Гидролитическая
Химические вещества (водные растворы кислот и щелочей, амины, кислоты, спирты, масла, жиры, гликоли, органические растворы, металлы и пр.)	Гидролиз, аминализ, ацитолиз, алколиз и пр.
Примеси (кислоты, металлы и пр.)	Различные виды химической деструкции
Напряжения сдвига	Механическая

На основе проведенного анализа разработана схема системной модели влияния климатических факторов на физические характеристики полимерных композиций (рис. 2). Под климатическими факторами понимается тепло, кислород, высокие напряжения сдвига, влага, УФ-излучение, различные химические вещества, отходы и другие.



Рис. 2. Схема влияния климатических факторов на физические характеристики полимерных композиций

Современные многокомпонентные полимерные композиции, содержащие различные функциональные добавки характеризуется высокими эксплуатационными свойствами, пониженной вязкостью, повышенной жиз-

неспособностью и пониженной себестоимостью, но имеют ряд существенных недостатков: низкая термостойкость, высокий коэффициент линейного термического расширения, что приводит к возникновению внутренних напряжений между основным материалом и бетоном [11].

### Анализ существующих подходов для решения проблемы

В европейских странах производят ряд перспективных экологически-безопасных многокомпонентных полимерных композиций, которые могут уже сегодня с успехом применяться в различных областях, однако они оказываются неэффективны для стран с агрессивными условиями эксплуатации, подобных Ливии. Низкие физико-механические свойства полимерных композиций применяемых для ремонта и восстановления строительных конструкций, при эксплуатации в условиях повышенных температур оказываются неэффективны.

*Материалы применяемые для ремонта и защиты строительных конструкций в условиях Ливии должны отвечать следующему ряду требований:*

- иметь широкий температурный интервал эксплуатации от 0 до 50 °С (кратковременно выдерживать тепловой удар до 90 °С);
- композиции должны формировать защитный карбонизованный слой, который будет являться термодиффузионным барьером;
- термостойкость, разлагаться на активные продукты в диапазоне температуры термодеструкции соответствующей полимерной матрицы;
- услойчивость к различным химическим веществам и примесям, которые присутствуют в почве, воздухе, воде и т.д. должны быть экологически-безопасными продуктами, не приводящими к загрязнению окружающей среды при тепловом воздействии и в условиях эксплуатации.
- обеспечивать надежное восстановление механической прочности строительных конструкций и обеспечение гарантированного уровня основных характеристик при эксплуатации.

Важно также обеспечить возможность возврата отработавшей свой срок полимерной продукции в новый жизненный цикл.

Среди новых разработок на рынке полимеров можно отметить следующие: интумесцентные (вспучивающиеся) системы, полимерные нанокомпозиты, предкерамические добавки, легкоплавкие стекла, различные типы коксобразователей, а также системы, модифицирующие морфологию полимера. Однако перечисленные композиции хотя и превышают характеристики существующим аналогам, но не способны отвечать всем заданным выше требованиям.

Сравнительно давно в научном мире было замечено, что практическая прочность материалов («предел» прочности) не является неизменно величиной, а заметно изменяется в зависимости от условий испытания. В научной литературе представлена достаточно много исследований полимерных композиций, но исследований влияния температурных и климатических факторов на свойства композиций не много. Существующие исследования [8,9] показывают, что снижение прочности полимерных материалов происходит в результате процессов, протекающих в полимерной матрице и в межфазном слое полимер-наполнитель. В частности, при повышенных температурах, усталостных нагрузках вследствие различных коэффициентов линейного расширения матрицы и наполнителя происходит нарушение межфазного слоя и растрескивание матрицы. Указанные закономерности проявляются на всех этапах старения изделия [9]. Влияние различных факторов на кинетику полимеров до настоящего времени с необходимой полнотой не установлено из-за мно-

гообразия схем, используемых для описания процессов пиролиза таких полимеров.

В связи с этим представляется задача разработать экологически безопасную ремонтно пригодную композицию для восстановления бетонных и железобетонных конструкций с повышенной термостойкостью при удовлетворительной прочности и водостойкости в условиях климатической зоны Ливии.

### Результаты разработки модифицированной полимерной композиции

Эпоксидный полимерраствор, заявленный как прототип, применяется для восстановления поврежденных участков элементов бетонных и железобетонных конструкций [10]. Поставленная задача решается следующим образом: полимерная композиция содержит эпоксидную Дианов смолу ЭД-20, в качестве аминного отвердителя смесь – дицианетилдиэтилентриамину УП-0633 и продукта взаимодействия формальдегида, фенола и этилендиамина (АФ-2), как пластифицирующая добавка – алифатический производный полиоксипропиленепоксиду (Лапроксид-503), в качестве наполнителя отходы золы уноса ТЭС (табл. 2).

Таблица 2.

Показатели соотношения компонентов модифицированной композиции

Компонент модифицированной композиции	Соотношение компонентов, мас. ч.
эпоксидная Дианова смола (ЭД-20)	100
дицианетилдиэтилентриамину УП-0633	24
продукта взаимодействия формальдегида, фенола и этилендиамина (АФ-2)	8
алифатический производный полиоксипропиленепоксиду (Лапроксид-503)	5
отходы золы уноса ТЭС	15-25

Для получения полимерной композиции использовали эпоксидную Дианов смолу марки ЭД-20 (ГОСТ-2093-92) с содержанием эпоксидных групп до 22 %, Вязкостью при 25 °С – 12 ÷ 18 Па · с; алифатический производный полиоксипропиленепоксиду (Лапроксид-503) (ТУ 6-05-221-740-86) аминный отвердитель дицианетилдиэтилентриамин УП-0633 (ТУ 2494-552-00203521-99) с вязкостью при 25 °С – 0,1 Па · с, продукта взаимодействия формальдегида, фенола и этилендиамина (АФ-2) (ТУ 38.30340-83) с вязкостью при 25 °С – 2,4 Па · с; как наполнитель – отходы золы уноса ТЭС с размером частиц 40-100 мкм.

Предложенные композиции по примерам 1-3 готовили следующим образом. В смеситель вводили последовательно рассчитанное количество эпоксидной Диановой смолы ЭД-20, Лапроксид-503 отходы золы уноса ТЭС. Смесь медленно перемешивали в течение 10 минут, затем добавляли необходимое количество, отдельно подготовленных отвердителей УП-0633 и АФ-2 и снова перемешивали до получения однородной смеси, после чего композицию использовали по назначению.

Для опытной проверки свойств состава было подготовлено 3 композиции, одна из которых показала оптимальные результаты. Состав эпоксидных композиций и их свойства по сравнению с прототипом эпоксидным полимерраствором приведены в табл. 3.

Для готовых композиций при температурах 20 и 60 °С определяли: жизнеспособность, разрушающее напряжение при поперечном изгибе (по ГОСТ 4648-2014), модуль упругости при изгибе (по ГОСТ 4648-2014), температуру принуждения на Консистометры Хеплер, коэффициент линейного термического расширения, водопоглощение (по ГОСТ 4650-80), водонепроницаемость (по ГОСТ 12730,5-84).

Состав композиций и их свойства по сравнению с прототипом

Составные части и показатели свойств	Показатель				
	Температура, С°	эпоксидный полимерраствор	1	2	3
Эпоксидная Дианова смола (ЭД-20), мас.ч.			100	100	100
Алифатический производный полиоксипропиленэпоксида (Лапроксид-503), мас.ч.			5	5	5
Отходы золы уноса ТЭС, мас.ч.			20	20	20
Дицианетилдиэтилентриамин (УП-0633), мас.ч.			28	24	20
Продукта взаимодействия формальдегида, фенола и этилендиамина (АФ-2), мас.ч.			5	8	11
Жизнеспособность, мин.	60		75-80	65-70	30-40
Разрушающее напряжение, Мпа – при поперечном изгибе	20	16,60	14,3	20,4	21,6
	60	3,45	4,7	12,5	13,1
Модуль упругости, Мпа – при сгиб	20	1440	1670	1865	1970
	60	68	216	830	855
Температура стеклования, Т с, 0		52	84	92	95
Коэффициент линейного термического расширения $\alpha \times 6$ октября, град -1 – ниже Т с		72,7	31,5	39,0	40,1
Водопоглощение за 24 часа,%	20	0,1	0,08	0,05	0,04
	60	0,5	0,14	0,08	0,07
Водой проницаемость бетона с покрытием, Мпа			12		

### Выводы

В процессе эксплуатации на применяемую для реконструкции городов Ливии полимерную композицию воздействуют одновременно как циклические нагрузки, высокие температуры, так и агрессивные условия окружающей среды. Низкие физико-механические свойства полимерных композиций применяемых для ремонта и восстановления строительных конструкций, при эксплуатации в условиях повышенных температур оказываются неэффективны. Необходимо разработать экологически безопасную ремонтно пригодную композицию для восстановления бетонных и железобетонных конструкций с повышенной термостойкостью при удовлетворительной прочности и водостойкости в условиях Ливии.

Сравнительный анализ позволяет сделать вывод, что разработанная модифицированная композиция от-

личается от известных использованием нового сочетания компонентов: смеси отвердителей – дицианетилдиэтилентриамин УП-0633 и продукта взаимодействия формальдегида, фенола и этилендиамина (АФ-2), производный полиоксипропиленэпоксида (Лапроксид-503) и отходы золы уноса ТЭС.

Использование смеси отвердителей позволяет повысить жизнеспособность композиции при повышенных температурах до 60 °С за счет низко активного алифатического амина и увеличить термостойкость композиции (температура стеклования Т с = 95 °С) за счет высокоактивного ароматического отвердителя при сохранении удовлетворительного прочностных, не меньшим, чем у прототипа и водостойкости, а также уменьшить себестоимость композиции за счет использования отходов золы уноса ТЭС.

### Литература:

1. Раткин, В. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций транспор: тных сооружений, находящихся под воздействием агрессивных сред [Текст] / В. В. Раткин, А. В. Кокодеев // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2014. – № 4 (8). – С. 63–68.
2. Karbhari, V., Chin, J., Hunston, D., Benmokrane, B., Juska, T., Morgan, R., Lesko, J., Sorathia, U., Reynaud, D. Durability Gap Analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure // J. Compos. Constr., 2003, Vol. 7, No. 3, 238-247.
3. Bakis, C., Bank, L., Brown, V., Cosenza, E., Davalos, J., Lesko, J., Machida, A., Rizkalla, S., Triantafyllou, T. Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction – State-of-the-Art Review // J. Compos. Constr., 2002, Vol. 6, No. 2, 73-87.
4. Mouritz A.P. Gibson A.G. Fire Properties of Polymer Composite Materials. Dordrecht: Springer, 2006.
5. [http://www.math.sfedu.ru/conf\\_10/tom2.pdf#page=20](http://www.math.sfedu.ru/conf_10/tom2.pdf#page=20)
6. <http://www.misratah.climatemps.com/graph.php> – рисунок 1
7. Юнис Башир Н., Муна Абдалхем, / последствия воздействия высоких температур и горения клеенных полимерными клеями железобетонных конструкций // сборник строительные материалы и изделия, 2015, №4-3 (90).-р.70-72.
8. АЕСТР300. Climatic Environmental Tests. NATO STANAG 4370.
9. Accelerated Aging of Materials and Structures. – National Academy Press. – 1996.
10. Пат. 2248950 Российская Федерация, МПК C09D163 / 02 C08L63 / 02 C08L63/ 02 C 08 J 11 C0 4 B 26/14 C0 4 B 18/20 C0 4 B 18/1 8. Эпоксидный полимерраствор / Ярцев В.П., Воронков А.Г. ; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический уни верситет (ТГТУ) – № 2003132021/04;заявлений. 31.10.2003; опубл. 27.03.2005.тв
11. Хоанг Тхе Ву, Осипчик В. С. Модификация эпоксидных олигомеров алкоксисиланами. // Успехи в химии и химической технологии. Сб. научн. Тр. –М.: РХТУ им Д. И. Менделеева. – 2008. – Т 22. – № 5, – С. 95 – 98.