



Научная статья
2.6.17 - Материаловедение (технические науки)
УДК 678
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.042

EDN: CABPYQ

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХКОПОНЕНТНЫХ ЭПОКСИДНЫХ СИСТЕМ КДА-ХИ И КДА-ХИ-Т В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Алексей Геннадьевич Туисов ¹, Ананьев Максим Игоревич ²,
Айсен Анатольевич Кычкин ³, Марков Айталь Еремеевич ⁴

^{1, 2, 3, 4, 5} Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Россия
¹ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5889-000>
² mi.ananiev@yandex.ru
³ icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>
⁴ aitalmarkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6853-6758>

Аннотация. В работе представлены результаты исследования двухкомпонентных систем КДА-ХИ и КДА-ХИ-Т, состоящих из модифицированной эпоксидной смолы и модифицированного отвердителя, в соотношении 100: 79,3 масс. ч. на технологические свойства. На основе двухкомпонентных систем КДА-ХИ и КДА-ХИ-Т изготовлены образцы стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм методом протяжки через фильтру с последующим отверждением. Получены упруго-прочностные характеристики образцов стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм на основе двухкомпонентных систем КДА-ХИ и КДА-ХИ-Т.

Ключевые слова: эпоксидное связующее, стеклопластик, время гелеобразования, начальная условная вязкость, предел прочности при статическом изгибе.

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ «Разработка и исследование полимерных композиционных углеродсодержащих волокнистых материалов на основе винил-эфирно-эпоксидного полимерного связующего для климатических зон холодного климата и Арктики» (№ FWRS-2025-0027).

Для цитирования: Применение двухкомпонентных эпоксидных систем КДА-ХИ и КДА-ХИ-Т в качестве связующих для стеклопластиков конструкционного назначения / А. Г. Туисов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2025. № 4, С. 250–253. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.042. EDN: <https://elibrary.ru/CABPYQ>.

Original article

APPLICATION OF TWO-COMPONENT EPOXY SYSTEMS KDA-HI AND KDA-HI-T AS BINDERS FOR STRUCTURAL FIBERGLASS COMPOSITES

Aleksei G. Tuisov ¹, Maksim I. Anan'ev ², Aisen A. Kychkin ³,
Aital E. Markov ⁴

^{1, 2, 3, 4, 5} Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia
¹ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5889-000>
² mi.ananiev@yandex.ru
³ icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>
⁴ mkopyrin91@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6018-6391>
⁵ aitalmarkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6853-6758>

Abstract. The paper presents the results of a study of two-component KDA-HI and KDA-HI-T systems, consisting of a modified epoxy and a modified hardener in a ratio of 100:79.3 mass parts, on their technological properties. Based on the two-component KDA-HI and KDA-HI-T systems, samples of 6 mm diameter fiberglass reinforcement were produced by drawing through a die and subsequent curing. The elastic and strength characteristics of 6 mm diameter glass-plastic reinforcement samples based on two-component KDA-HI and KDA-HI-T systems have obtained.

Keywords: epoxy binder, fiberglass, gel formation time, initial conditional viscosity, and static bending strength.

Acknowledgements: The work was carried out as part of a state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation «Development and research of polymer composite carbon-containing fibrous materials based on a vinyl-ether-epoxy polymer binder for cold climate zones and the Arctic» (№ FWRS-2025-0027).

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ЭПОКСИДНЫХ СИСТЕМ КДА-ХИ И КДА-ХИ-Т В КАЧЕСТВЕ СВЯЗЫЮЩИХ ДЛЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

For citation: Tuisov A. G., Anan'ev M. I., Kychkin A. A. & Markov, A. E. (2025). Application of two-component epoxy systems KDA-HI and KDA-HI-T as binders for structural fiberglass composites. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 250-253. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.04.042. EDN: <https://elibrary.ru/CABPYQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы с успехом конкурируют с такими традиционными материалами как металлы и сплавы, стекло, дерево, а в ряде случаев только из них могут быть созданы конструкции, отвечающие специальным техническим требованиям. Полимерные композиционные материалы на основе эпоксидных смол, содержащие волокнистый наполнитель, получили широкое распространение в качестве конструкционных материалов самого различного назначения. [1,2].

Эпоксидные связующие для композитов в общем случае представляют собой композиции, состоящие из основных компонентов, эпоксидного олигомера (одного или более), отвердителя, ускорителя и различных модифицирующих добавок. В простейшем случае связующее может состоять из одного эпоксиолигомера (смолы), совмещенного с отвердителем. Для улучшения технологических свойств связующего и для повышения физико-механических характеристик используют различные модифицирующие добавки. [3].

Существующая в настоящее время широкая гамма отечественных и зарубежных смол, отвердителей, ускорителей, катализаторов отверждения и различных модификаторов позволяет эффективно решать задачи по созданию эпоксидных связующих для различных композиционных материалов [4,5].

Эпоксидные связующие серии КДА-ХИ и КДА-ХИ-Т обладают высокой теплостойкостью 145- 150°C, а также высокой адгезией к армирующему стекловолокну.

Таким образом, исследование технологических характеристик двухкомпонентных эпоксидных связующих серии КДА и упруго-прочностных показателей стеклопластиковых стряжней на их основе является важной практической задачей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе проводили исследование технологических свойств эпоксидных связующих и упруго - прочностных свойств стеклопластиковых односторонне армированных в зависимости от типа эпоксидного связующего. В качестве армирующего наполнителя стеклопластиковой арматуры использовали стеклоровинг удельной плотностью 2400 текс с элементарным волокном 24 мкм на основе силанового замасливания 386 (JUSHI GROUO CO., LTD, Китай).

В качестве объектов исследования были выбраны двухкомпонентные связующие, состоящие из смеси модифицированной смоляной части с модифицированным отвердителем в соотношении 100:79,3 масс.ч. (НПП "Синтез", Россия) марок КДА-ХИ-Т и КДА-ХИ.

Для сравнения было взято трехкомпонентное эпоксидное связующее ЭДИ [4] на основе ангидридного отвердителя состоящее из эпоксидной смолы SM-828 (Jiangsu Sunmu Groop Corp. Ltd., Китай), отвердителя Изо-МТГФА и Агидола 53 (АО "Стерлитамакский нефтехимический завод", Россия) в соотношении 100:75:1,5 масс.ч соответственно.

В процессе исследования определялась начальная условная вязкость и время гелеобразования объектов исследования.

Время гелеобразования связующего как контрольного показателя определяли при помощи полимеризационной плитки. Данный метод являются наиболее простыми из известных в настоящее время методов для применения в лабораторных условиях [6]. Значения времени гелеобразования, полученные с применением полимеризационной плитки, называют также ручным, поэтому очень важно установить условия, регламентирующие точность измерений. При оценке времени гелеобразования в условиях эксперимента за результат испытания принимали среднее арифметическое трех параллельных определений, расхождение между наиболее отличающимися значениями, которых не превышает 5 с. Допускаемая относительная суммарная погрешность результата испытания ± 3% при доверительной вероятности 0,95.

Определение начальной условной вязкости эпоксидной композиции осуществлялось на капиллярном вискозиметре В3-1, используемом для измерения вязкости неструктурных и слабоструктурированных жидкостей (ГОСТ 8420-74).

Время жизни эпоксидных связующих определяли путем нагрева до температуры 55°C и определения времени, в течение которого исследуемые связующие сохраняли свои вязкоупругие свойства и способность к дальнейшей переработке на технологическом оборудовании.

Испытание упруго-прочностных свойств стеклопластиковой арматуры производили при перемещении захватов со скоростью 500 мм/мин на испытательной машине INSTRON модели 3369 согласно ГОСТ ГОСТ 4648-2014.

Для оценки влияния агрессивных сред стеклопластиковая арматура была подвергнута химическому старению в среде NaOH при температуре 80°C в течение 7 суток, и в дальнейшем исследована на упруго-прочностные свойства.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования эпоксидных связующих КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т и ЭДИ на технологические показатели представлены в таблице 1. Из таблицы 1 следует, что рассматриваемые эпоксидные связующие обладают сравнительно одинаковыми значениями начальной условной вязкости, при этом двухкомпонентные эпоксидные связующие серии КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т имеют более высокое значение времени гелеобразования и времени жизни.

Эпоксидное двухкомпонентное связующее КДА-ХИ-Т имеет максимальное значение времени жизни, обеспечивая сохранение заданных технологических свойств в течении не менее 3 часов (относительно связующего ЭДИ не менее 2x часов и КДА-ХИ не менее 2,5 часа).

Таблица 1 - Технологические показатели эпоксидных связующих КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т и ЭДИ.

Table 1 - Technological characteristics of KDA-HI, KDA-HI-T, and EDI epoxy binders

Эпоксидное связующее	η , сек	$t_{жел}$, сек	$t_{жизн}$, час
КДА-ХИ	55±5	550±10	≈2,5
КДА-ХИ-Т	65±5	745±15	≈3,0
ЭДИ	50±5	310±10	≈2,0

Высокие значения времени гелеобразования связующего КДА-ХИ-Т и КДА-ХИ способствуют увеличению времени полимеризации и, как следствие, снижению, при заданных температурных режимах, скорости формирования стеклопластиковых изделий.

На основе рассматриваемых эпоксидных связующих КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т и ЭДИ были получены образцы стеклопластиковой арматуры номинальным диаметром 6 мм методом протяжки пропитанного пучка

Таблица 2 - Упруго-прочностные свойства стеклопластиковой арматуры на основе эпоксидных связующих серии КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т и ЭДИ

Table 2 - Elastic and strength properties of fiberglass reinforcement based on epoxy binders of the KDA-HI, KDA-HI-T, and EDI series

Свойства	Стеклопластиковая арматура на основе связующего		
	КДА-ХИ	КДА-ХИ-Т	ЭДИ
Предел прочности при статическом изгибе (ГОСТ 8420-74), МПа	1945±50	1950±40	2000±50
Предел прочности при статическом изгибе после выдержки в среде NaOH при температуре 80°C в течении 7 суток (ГОСТ 8420-74), МПа	835±35	1100±50	1280±45

При этом предел прочности при статическом изгибе стеклопластиковой арматуры до химического старения отличается не значительно, в пределах погрешности.

Стеклопластиковая арматура, полученная на основе эпоксиангидридного связующего ЭДИ, предел прочности при статическом изгибе составляет 2000±50 МПа и 1280 ±45 после выдержки среде NaOH соответственно, проявляет более высокие значения относительно связующих серий КДА, что свидетельствует об их устойчивости в щелочных средах, т.е. о более медленном процессе деградации свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование технологических свойств эпоксидных связующих показали, что двухкомпонентные эпоксидные связующие КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т и ЭДИ обладают сравнительно одинаковыми значениями начальной условной вязкости, находящейся в пределах 50-65 сек. При этом двухкомпонентные эпоксидные связующие серии КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т имеют более высокое значение времени гелеобразования равные 550±10 сек и 745±15 сек соответственно, по сравнению со связующим ЭДИ время гелеобразования которого составило 310±10 сек, что делает их более технологичными в процессе формирования композитов на их основе.

Время жизни связующих КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т и ЭДИ превышает 2 часа, что свидетельствует о воз-

ровингов через формаобразующую фильтру и дальнейшей полимеризацией при температурой нагрева от 45°C до 170°C со скоростью нагрева 5°C/сек. Содержание эпоксидного связующего в отверженных стеклопластиках составило 17±0,5% от массы стеклопластика.

Результаты исследования упруго-прочностных свойств стеклопластиковой арматуры номинальным диаметром 6 мм, полученной на основе изучаемых связующих серий КДА-ХИ, КДА-ХИ-Т и ЭДИ приведены в таблице 2.

Данные таблицы 2 показывают, что прочностные значения предела прочности при статическом изгибе стеклопластиковой арматуры на основе эпоксидных связующих серий КДА и ЭДИ с учетом статистической погрешности находятся в одном диапазоне.

Исследования упруго-прочностных свойств стеклопластиковой арматуры, после выдержки при высокой температуре в щелочной среде в среде, изготовленной на основе двухкомпонентных эпоксидных связующих серий КДА имеют значения предела прочности при статическом изгибе ниже, чем на связующем ЭДИ (от 14 до 35%).

можности использования данных связующих при производстве стеклопластиковых изделий, требующих длительных технологических процессов.

При этом композиты на основе ЭДИ проявляют большую устойчивость к деградации свойств при контакте с щелочными средами, что свидетельствует о целесообразности их применения в агрессивных средах.

В любом случае выбор связующего будет определяться условиями эксплуатации композитной конструкции, и у разработчиков есть возможность выбора компонентного состава для формирования материалов под заранее заданные условия эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туисов А.Г., Белоусов А.М., Мамашев Р.Г., Ефанова Т.В. Исследование влияния аминных отвердителей бензамина и бензамида для эпоксидных смол на прочностные свойства стеклопластиковых стержней // Известия высших учебных заведений. Серия химия и химическая технология. 2009. Т.52. № 4. С. 95-97
2. Тимошков, П. Н., Хрульков А. В., Язвенко Л. Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. № 6(54). С. 7. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-7-7 EDN: YRPTDV.
3. Хорохордин А.М., Усачев А.М., Коротких Д.Н. Сравнительная оценка механических свойств полимерной композитной арматуры // Строительные

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ЭПОКСИДНЫХ СИСТЕМ КДА-ХИ И КДА-ХИ-Т В КАЧЕСТВЕ СВЯЗЫЮЩИХ ДЛЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

материалы. 2018. № 7. С. 71. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75 EDN: XUKMEX.

4. Ли Х., Невил К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. М.: Энергия. 1973. 407с

5. Кычкян, А. А. Структура и свойства стеклопластика конструкционного назначения на основе эпоксиангиридрида связующего с наполнителями карбида кремния и углеродными нанотрубками: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кычкян Айсен Анатольевич, 2024. 161 с. EDN UAYNBF.

6. Шимкин А.А. Методы определения времени гелеобразования полимерных связующих и препрогоов // Российский Химический Журнал (журнал Российской химического общества им. Д.И. Менделеева). 2014. Т.LVIII. №3,4. С.55-61.

Информация об авторах

А. Г. Туисов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

М. И. Ананьев – младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

А. А. Кычкян – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

А. Е. Марков – младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

REFERENCES

1. Tuisov, A.G., Belousov, A.M., Mamashev, R.G. & Efanova, T.V. (2009). Study of the Effect of Benzamine N and Benzamine A Amine Hardeners for Epoxy Resins on

the Strength Properties of Fiberglass Rods. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya Khimiia i Khimičeskaja Tekhnologija. 52 (4). 95-97. (In Russ.).

2. Timoshkov, P. N., Khrulkov, A. V., & Yazvenko, L. N. (2017). Composite Materials in the Automotive Industry (Review). Proceedings of VIAM. 6(54). 7 p. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-7-7. EDN: YRPTDV. (In Russ.).

3. Khorokhordin, A.M., Usachev, A.M. & Korotkikh, D.N. (2018). Comparative Assessment of the Mechanical Properties of Polymer Composite Reinforcement. Construction Materials. 7. P. 71. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75 EDN: XUKMEX. (In Russ.).

4. Li, X. & Nevil, K. (1973). Handbook of Epoxy Resins. M.: Energiya. 407p (In Russ.).

5. Kychkin, A. A. (2024). Structure and Properties of Glass-Fiber Composites for Structural Applications Based on Epoxy-Anhydride Binder with Silicon Carbide Fillers and Carbon Nanotubes: Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences. 161 p. EDN UAYNBF. (In Russ.).

6. Shimkin, A.A. (2014). Methods for Determining the Gel Formation Time of Polymer Binders and Prepregs. Russian Chemical Journal (Journal of the Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev). Vol. LVIII. (3,4). 55-61. (In Russ.).

Information about the authors

A. G. Tuisov – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Federal Research Center "Yakutsk Scientific Center SB RAS".

M. I. Anan'ev - Junior Researcher at the Federal Research Center "Yakutsk Scientific Center SB RAS".

A. A. Kychkin – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Federal Research Center Yakutsk Scientific Center SB RAS.

A. E. Markov – junior researcher at the Federal Research Center Yakutsk Scientific Center SB RAS.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2025; одобрена после рецензирования 24 ноября 2025; принята к публикации 28 ноября 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2025; approved after editing on 24 Nov 2025; accepted for publication on 28 Nov 2025.