

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-89-101

**Кочергин Ю.С., Носова А.Н., Кравчук Т.Н., Григоренко Т.И., \*Золотарева В.В.**

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского

\*E-mail: viktoria802@gmail.com

## СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ, ОТВЕРЖДЕННЫХ КОМПЛЕКСОМ ОЛОВООРГАНИЧЕСКОГО ГАЛОГЕНИДА С АМИНОФЕНОЛЬНЫМ ОТВЕРДИТЕЛЕМ

**Аннотация.** Разработан способ синтеза комплекса на основе оловоорганического галогенида – дибромиды дибутилолова – и аминофенольного отвердителя марки УП-583. Установлено, что образцы, отвержденные комплексным отвердителем при комнатной температуре, характеризуются меньшими значениями прочности при растяжении, модуля упругости и температуры стеклования по сравнению с образцами, отвержденными отвердителем УП-583. Значения деформации при разрыве примерно одинаковы для обоих отвердителей. После термообработки для образцов, содержащих комплекс, резко возрастают значения прочности и модуля, вследствие чего они превосходят образцы на основе УП-583. Деформационная способность при этом изменяется мало, а температура стеклования, хотя и возрастает после прогрева, но все равно остается значительно меньшей, чем у образцов, отвержденных УП-583. Наблюдаемое изменение деформационно-прочностных свойств образцов при их экспозиции в жидкой среде объяснено наложением эффектов пластифицирования и доотверждения эпоксидных полимеров. При малых временах экспозиции действие сорбируемой влаги (или другой физически активной жидкости) направлено главным образом на ослабление межмолекулярного взаимодействия в образце, вследствие чего снижается его прочность и растет деформативность. При больших значениях  $t_{\text{в}}$ , когда количество поглощенной воды становится достаточно большим и развивается довольно интенсивная молекулярная подвижность, преобладают процессы доотверждения, приводящие к увеличению плотности поперечного сшивания и, как следствие, к снижению деформационной способности и росту показателя прочности. Показано, что эпоксидные композиты, содержащие комплексный отвердитель, отличаются хорошей работоспособностью в водной среде, повышенной стойкостью к развитию грибка и плесени, а также лучшей огнестойкостью. Исследованные полимеры являются перспективными для получения на их основе противообрастающих покрытий для гидротехнического оборудования, морских и речных судов.

**Ключевые слова:** эпоксидный композит, аминофенольный отвердитель, комплекс, оловоорганический галогенид, деформационно-прочностные свойства, температура стеклования, водостойкость, огнестойкость, противообрастающие покрытия.

**Введение.** Обрастание водорослями и моллюсками является одной из основных проблем, затрагивающих промышленные теплообменники с использованием воды из природных источников (озер, рек и морей) для охлаждения. Негативными последствиями формирования обрастания являются сокращение передачи тепла, потеря эффективности охлаждения, преждевременный износ объектов и увеличение расходов на эксплуатацию и техническое обслуживание [1–3]. Обрастание накапливается до тех пор, пока не начинает отрываться и уноситься к решеткам, трубным щитам и помпам. Происходящая при этом закупорка приводит к повышению давления до критического. При этом возникают непредвиденные расходы, связанные с перекрытием водоводов для их очистки. Установлено, что обрастание днищ судов снижает их скорость (до 50 %), увеличивает потребление топлива (до 40 %), а также повышает массу гидротехнических сооружений (до 20 %), нарушает работу выводов платформ для добычи нефти и газа на шельфе.

Современные методы борьбы с обрастанием подразделяются на физические и химические. Использование теплой воды является одним из наиболее распространенных физических методов борьбы с обрастанием водоводов. Этот метод особенно выгоден в тех случаях, когда имеются отходы тепловой энергии, поскольку подогрев воды в больших количествах требует много средств. Для защиты водоводов от обрастания рекомендовано также использование защитных электрофильтров, суть действия которых состоит в создании на входе в водовод электрического поля. При достаточной плотности тока ( $25 \text{ мА/см}^2$ ) и напряжении (220–280 В) личинки обрастателей, проникающие в водовод, окажутся убитыми или парализованными [4]. Рядом авторов предлагается осуществлять защиты водоводов от обрастания при помощи ультразвука [1]. Показано, что гибель личинок обрастателей зависит от частоты и давления ультразвуковых волн. Когда величина давления ультразвука достигает 0,1 - 0,3 бар, то процент гибели личинок зависит

от времени воздействия. При постоянной пульсации увеличение частоты вызывает повышение гибели личинок. Возможно использование для защиты водоводов также катодной защиты [1].

Среди химических методов защиты довольно широкое применение получили антиобрастающие полимерные покрытия [5, 6]. Любая эффективная необрастающая краска обычно представляет собой комбинацию из четырех основных ингредиентов: биоцида, полимера, растворителя и пигмента. Биоцид представляет собой смесь активных веществ (ядов), препятствующих биологическому обрастанию. Полимер – это связующее, создающее на защищаемой поверхности пленку, удерживающую компоненты краски. Растворитель определяет текучесть краски и скорость ее высыхания. Пигмент придает покрытию нужный цвет. По типу полимерного связующего необрастающие краски можно разделить на два основных типа: эродирующие (их еще называют самополирующимися) и твердые. Первые способны медленно растворяться в воде. Постепенно смывая верхние слои такой краски, вода постоянно «освежает» необрастающее покрытие. В результате внешний слой краски всегда содержит высокую концентрацию биоцидов. Твердые необрастающие краски не смываются водой и сохраняют твердость во время эксплуатации судов и гидротехнических сооружений. Механизм их защитного действия основан на выщелачивании биоцида в количестве приблизительно пропорциональном его содержанию в лакокрасочной пленке.

Классическим примером является применение в защитных покрытиях, препятствующих обрастанию днищ кораблей от морских наростов, в качестве биоцида порошкообразной меди и ее оксида. Применяются также другие металлы и их соли, в первую очередь, олово [7]. Оловоорганические полимеры обладают высокой антимикробной и антигрибковой активностью [8–10].

В состав связующих, используемых в судостроении, часто вводят галогенсодержащие полимеры, которые предназначены для повышения огнестойкости компонентов [11].

Эффективными биоцидами являются оловоорганические галогениды (ООГ), благодаря чему они получили широкое применение в качестве антимикробных и антигрибковых добавок для лакокрасочных материалов. В отличие от окисей металлов добавки ООГ в полимерные материалы не вызывает вторичных коррозионных эффектов. При этом в морской воде ООГ легко разлагаются на неопасные для фауны моря продукты. В настоящее время также известно применение ООГ в качестве катализаторов отверждения эпокси-

дных смол и латентных отвердителей каталитического действия. Введение каталитических количеств ООГ в эпоксидные композиции позволяет снизить температуру отверждения, а материалы, полученные на основе этих композиций, обладают хорошими деформационно-прочностными и адгезионными свойствами [12]. Также известно, что эпоксидные композиции, содержащие галогены, обладают пониженной горючестью, при этом минимальное содержание галогена, необходимое для снижения горючести эпоксидных материалов составляет 13–15 % и 26–30 % соответственно хлора и брома [13–20]. Следует, однако, иметь в виду, что высокие концентрации галогеносодержащих соединений приводят к ухудшению физико-механических свойств полимера. Для снижения этого нежелательного эффекта применяют синергетические смеси, представляющие собой смеси галогеносодержащих соединений с неорганическими соединениями [21–23]. С этой точки зрения оловоорганические галогениды – перспективные соединения. Кроме своей основной функции в эпоксидной композиции, функции отвердителя, алкил (арил) оловогалогениды сами по себе представляют синергетическую пару: атомы олова и галогена.

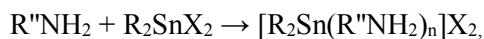
Применение ООГ для создания олово- и галогенсодержащих эпоксидных материалов в доступной литературе описано весьма скупо. Известно применение ООГ в качестве реагентов для синтеза оловосодержащих отвердителей для эпоксидных смол [24]: отвердители получают взаимодействием  $R_2SnX_2$  и  $R_2SnO$  с карбоновыми кислотами и ангидридами. Содержание олова в таких отвердителях достигает 10 %. Однако, такие отвердители не являются галогеносодержащими, поскольку в ходе реакции выделяется галогеноводородная кислота. Применение ООГ в качестве сшивающих агентов для эпоксидных смол имеет несколько недостатков: отверждение проводится при высоких температурах 150–180 °С, а полученные при этом материалы обладают высокой хрупкостью и малой прочностью. По этой причине при создании сшивающих агентов для эпоксидных смол на основе оловоорганических галогенидов актуальной является задача повышения их реакционной способности и тем самым снижения температуры отверждения системы.

Известные комплексы ООГ с аминами для отверждения эпоксидных смол не пригодны в основном из-за плохой совместимости с эпоксидными смолами. Низкоактивные отвердители, содержащие в своем составе атом азота, олова и галогена описаны авторами работы [25]. В качестве

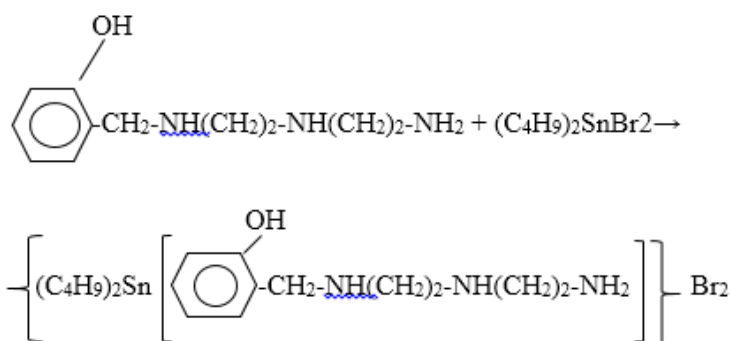
отвердителей используются бис- (2-хлор-5-аминобензоат)-тетрабутилдистанноксан и бис- (2-хлор-5-аминобензоат)-тетрабутилдистаннан.

Композиции с такими отвердителями отверждаются при 150 °С в течение 14 часов. Содержание олова в композициях составляет 4–7 %, галогена 3–5 %, что недостаточно для создания материалов с пониженной горючестью.

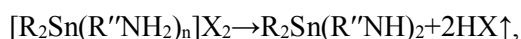
Получить эпоксидные композиции со значительно большим содержанием олова и галогена нам удалось с использованием комплексов ООГ с аминами. Синтез комплексов заключается во взаимодействии аминов с ООГ по схеме:



где  $n = 1$  или  $2$ .



Выход комплекса составляет 90%. Состав и строение полученного олово- и галогеносодержащего аминного отвердителя подтверждены элементным анализом (C-37,41; H-6,40; Sn-20,82; Br-28,23; N-6,41 %) и методом ИК-спектроскопии. ИК-спектр комплексного соединения, полученного при смешении эквимольных количеств  $Bu_2SnBr_2$  и УП-583, отличается от спектров исходных соединений. Наблюдается исчезновение полос поглощения в области  $1380\text{ см}^{-1}$ , смещение и изменение интенсивности полос в области  $1280$  и  $2200\text{ см}^{-1}$ . Одновременно, появляются новые полосы поглощения в области  $1100$  и  $3150\text{ см}^{-1}$ , причем последняя может быть отнесена к связи Sn-N [26]. Образование комплекса подтверждено также методом термогравиметрии. Так, на кривой ДТА в интервале температур  $70\text{--}80\text{ °C}$  для комплекса появляется эндотермический пик, относящийся, по-видимому, к плавлению комплекса. В области  $190\text{--}200\text{ °C}$  наблюдается экзотермический пик, который можно отнести к образованию комплекса новой структуры и сопровождающийся выделением галогенводорода:



поскольку при температуре  $200\text{ °C}$  происходит переход экзопика в эндопик с мгновенной потерей веса до 100 %.

В свете изложенного целью настоящей работы явилось исследование физико-механических и релаксационных свойств эпоксидных композиционных материалов, отвержденных комплексом оловоорганического галогенида с аминным отвердителем.

**Методология.** В качестве объектов исследования выбраны эпоксидные полимеры на основе диглицидилового эфира бисфенола А, которые получали отверждением промышленной смолы марки ЭД-16 с массовой долей эпоксидных групп 17,3 % и молекулярной массой 495. Отвердителем служили аминофенольный отвердитель марки УП-583 и его комплекс с ООГ, который получали взаимодействием УП-583 с дибромидом дибутилолова по схеме:

Отверждение композиций проводили по режимам  $20\text{ °C}/240\text{ ч}$  (отверждение без подвода тепла извне, т.е. при комнатной температуре) и  $20\text{ °C}/240\text{ ч} + 120\text{ °C}/3\text{ ч}$  (отверждение с термообработкой). Объекты исследования представляли собой пленки толщиной  $100\text{--}150\text{ мкм}$ , полученные при отверждении полимерных композиций между двумя полированными поверхностями металлических плит, покрытых тонким слоем антиадгезива.

Термомеханические исследования пленочных образцов проводили на установке [27] при постоянной растягивающей нагрузке 1 МПа. Механические свойства при одноосном растяжении (разрушающее напряжение  $\sigma_r$  и деформация при разрыве  $\varepsilon_r$  определяли на приборе типа Поляни с жестким динамометром и автоматической регистрацией измеряемых величин [26]. Скорость деформирования составляла  $3,83 \cdot 10^{-5}\text{ м/с}$ . Модуль упругости  $E$  рассчитывали по наклону начального участка кривой  $\sigma - \varepsilon$ . Водопоглощение  $W$  определяли по приращению массы пленочных образцов после выдержки в воде в течение 24 ч. Плотность образцов  $\rho$  измеряли методом градиентной колонки по ГОСТ 15139-69. Оценку устойчивости композита к воздействию плесени проводили по ГОСТ 9.048-89 «Единая система

защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов». В испытаниях использован метод 2. Сущность метода заключается в том, что изделие без очистки от внешних загрязнений заражают водной суспензией спор грибов и выдерживают в условиях, оптимальных для их развития, в течение 28 сут. Кислородный индекс определяли по ГОСТ 21793-76. Электронно-микроскопические исследования проводили на электронном микроскопе УЭМВ-100К методом двухступенчатых реплик с хрупкого скола. В качестве первичной реплики использовали 2% раствор желатины, на которую затем напылялась угольно-палладиевая реплика. Молекулярную массу участка цепи между узлами химической сетки ( $M_c$ ) определяли по величине равновесной деформации ползучести, измеренной при температуре  $T = T_c + 50$  К, по формуле:

$$M_c = 3\rho RT\varepsilon_0 / \sigma_0$$

где:  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура;  $\rho$  – плотность полимера;  $\varepsilon_0$  – равновесная деформация;  $\sigma_0$  – постоянное приложенное напряжение.

Плотность узлов химической сетки  $n_c$  рассчитывали по формуле:

$$n_c = \rho / M_c$$

**Основная часть.** Как видно из рис. 1, образцы, отвержденные комплексным отвердителем при комнатной температуре, характеризуются существенно меньшими значениями прочности при растяжении, модуля упругости и температуры стеклования по сравнению с образцами, отвержденными исходным отвердителем УП-583. Значения деформации при разрыве примерно одинаковы для обоих отвердителей. После термообработки для образцов, содержащих комплекс, резко возрастают значения  $\sigma_p$  и  $E$ , вследствие чего они превосходят образцы на основе УП-583. Показатель  $\varepsilon_p$  при этом изменяется мало, а величина  $T_{ст}$ , хотя и возрастает после прогрева, но все равно остается значительно меньшей, чем у образцов, отвержденных исходным УП-583. Причина такого изменения свойств заключается, на наш взгляд, в следующем. При образовании комплекса происходит увеличение длины молекулы отвердителя, насыщение ее тяжелыми атомами олова и брома, и «экранирование» первичных аминных групп атомами брома, что существенно замедляет скорость химической реакции между аминными группами отвердителя и оксирановыми циклами эпоксидной смолы. В результате при отверждении без подвода тепла извне образуется более редкая химическая сетка, которая характеризуется меньшими значениями  $\sigma_p$  и

$E$ . При этом определенный вклад в величины этих параметров вносит физическая сетка, образованная межмолекулярным взаимодействием водородных групп эпоксидной смолы и атомов брома комплексного отвердителя. Термообработка образцов при 120 °С приводит к разрушению этой физической сетки и усилению подвижности молекул, благодаря чему происходит образование дополнительных химических сшивок за счет реакции непрореагировавших при комнатной температуре эпоксидных и аминных групп.

В образующейся в результате более плотной химической сетке, благодаря сближению молекул возрастает вероятность образования водородных связей между ОН-группами и атомами брома. При этом при невысоких температурах (ниже  $T_{ст}$ ) из-за наличия тяжелых атомов олова и брома флуктуация этих межмолекулярных связей будет меньше, чем в случае композиций, отвержденных УП-583. Поэтому вклад межмолекулярного взаимодействия в увеличение  $\sigma_p$  и  $E$  для комплексного отвердителя выше. При повышении температуры физическая сетка разрушается в первую очередь, а более редкая химическая сетка в меньшей степени сопротивляется механической нагрузке. Это находит свое отражение в меньшей величине  $T_{ст}$  (рис. 1г) и более быстром уменьшении прочности при растяжении (рис. 2, кривая 2) и значительном увеличении деформации при разрыве (рис. 3, кривая 2) для образцов, отвержденных комплексом оловоорганического галогенида с отвердителем УП-583.

Поскольку оловосодержащие полимеры предназначены, в первую очередь, для защиты от обрастания гидротехнических сооружений и механизмов, работающих в водной среде, а также морских и речных судов представляло интерес исследовать влияние воды и других жидких сред на их деформационно-прочностные свойства. Видно (рис. 4), что параметр  $\sigma_p$  сложным образом зависит от времени выдержки ( $t_B$ ) образца в воде. При малых временах  $t_B$  (около 24 ч) для образца, отвержденного исходным УП-583, наблюдается уменьшение  $\sigma_p$  на 10 % (отверждение без подогрева) и на 33,7 % для термообработанного композита. Для образцов, отвержденных комплексом, снижение  $\sigma_p$  для непрогретого и термообработанного образцов примерно одинаково (15,5 и 14,7 % соответственно). После достижения точки минимума происходит рост прочности с образованием максимума при  $t_B=360$  ч для образцов, отвержденных исходным УП-583, независимо от режима отверждения. При этом в точке максимума величины  $\sigma_p$  превосходят начальные значения на 34,4 % для непрогретого образца и на 45,0 % для термообработанного образца. После

максимума  $\sigma_p$  достаточно быстро снижается, достигая через 720 ч значений, примерно таковых, как у исходных образцов (при  $t_B=0$ ). Для композитов, отвержденных комплексом, довольно слабый максимум наблюдается только для термообработанного образца (при  $t_B=240$  ч). При этом величина  $\sigma_p$  в точке максимума ниже на 5 %, чем

начальное значение прочности. Для непрогретого образца максимум  $\sigma_p$  в исследованном интервале времен экспозиции (720 ч) не наблюдается. Имеет место только монотонный рост  $\sigma_p$  до значений на 62 % выше, чем у исходного образца при  $t_B=0$

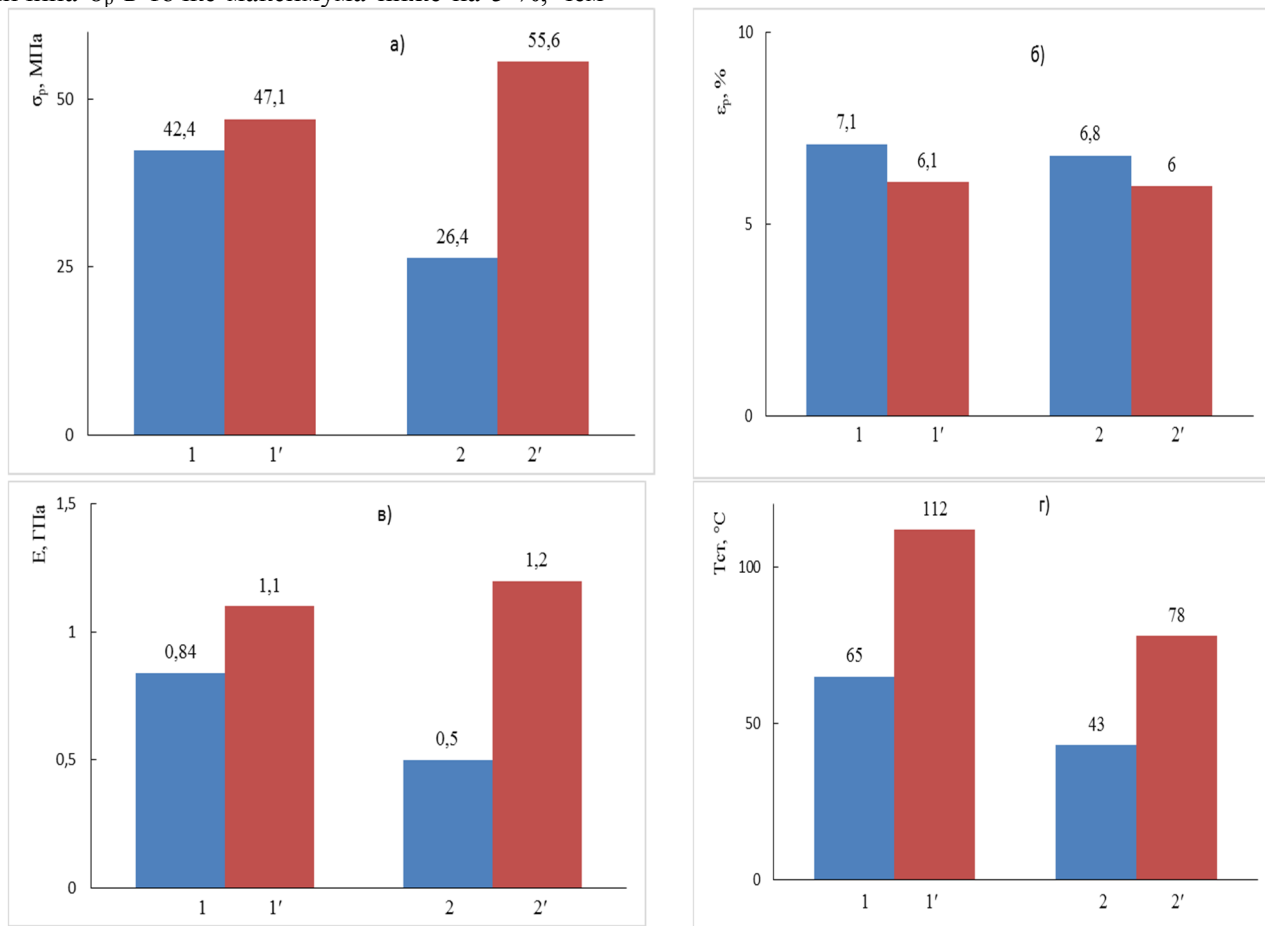


Рис. 1. Зависимость  $\sigma_p$  (а),  $\epsilon_p$  (б), E (в) и  $T_{ст}$  (г) от типа отвердителя и режима отверждения для образцов составов: 1,1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – ЭД-16 + (УП-583 + ООГ). Образцы отверждены по режимам 20 °C/240ч (1,2) и 2 0°C/240ч + 120 °C/3ч (1',2').

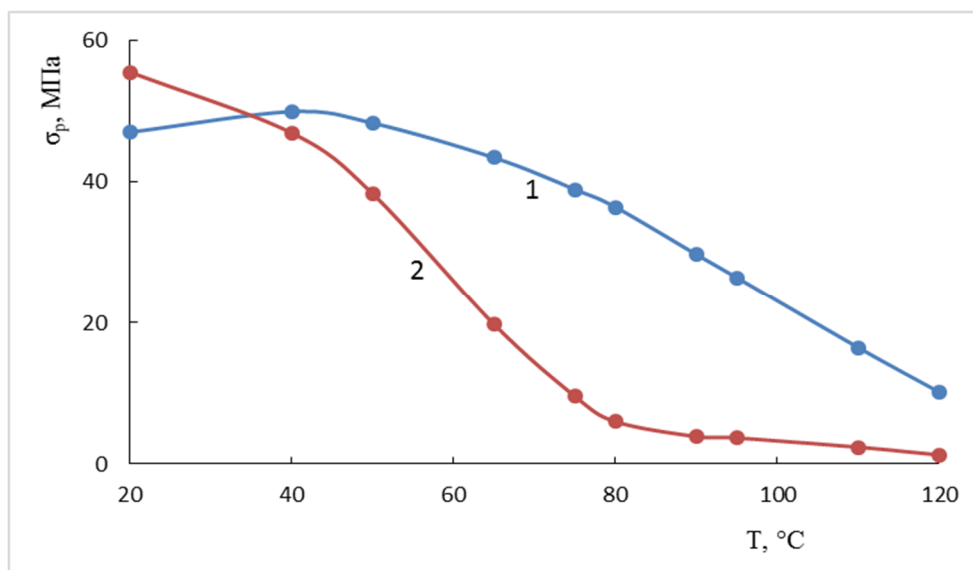


Рис. 2. Температурные зависимости  $\sigma_p$  для эпоксидных полимеров, отвержденных УП-583 (1) и комплексным отвердителем (2) по режиму 20°C/240ч + 120°C/3ч.

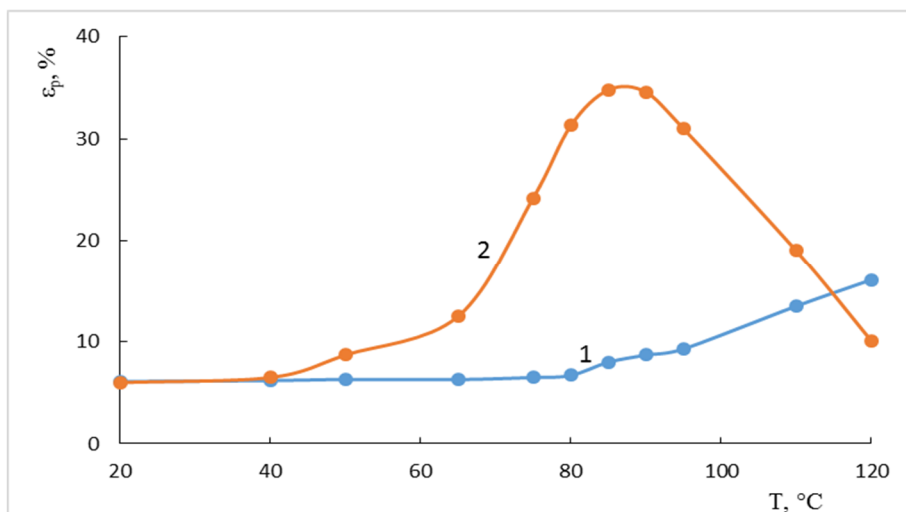


Рис. 3. Температурные зависимости  $\epsilon_p$  для эпоксидных полимеров, отвержденных УП-583 (1) и комплексным отвердителем (2) по режиму 2 0°C/240ч + 120 °C/3ч.

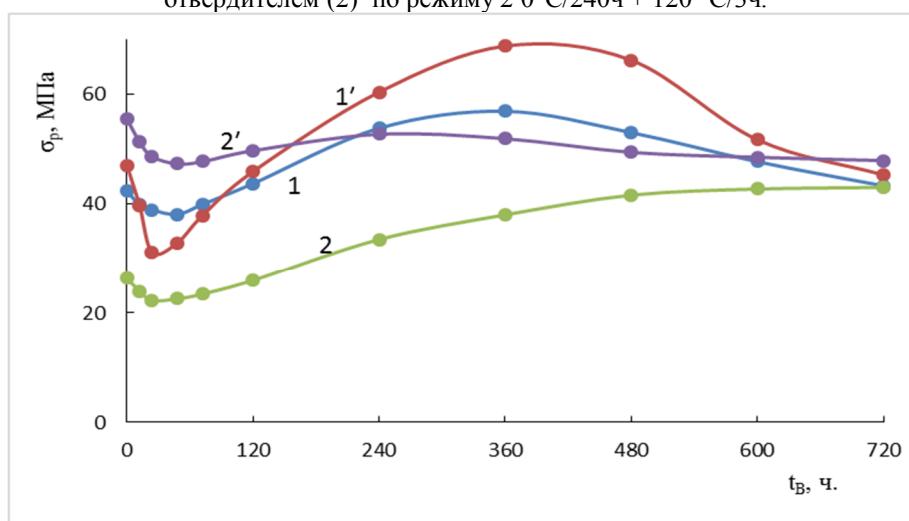


Рис. 4. Зависимость  $\sigma_p$  от времени выдержки  $t_B$  в воде образцов составов: 1, 1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – ЭД-16 + (УП-583 + ООГ). Образцы отверждены по режимам 20 °C/240ч (1, 2) и 20 °C/240ч + 120 °C/3ч (1', 2')

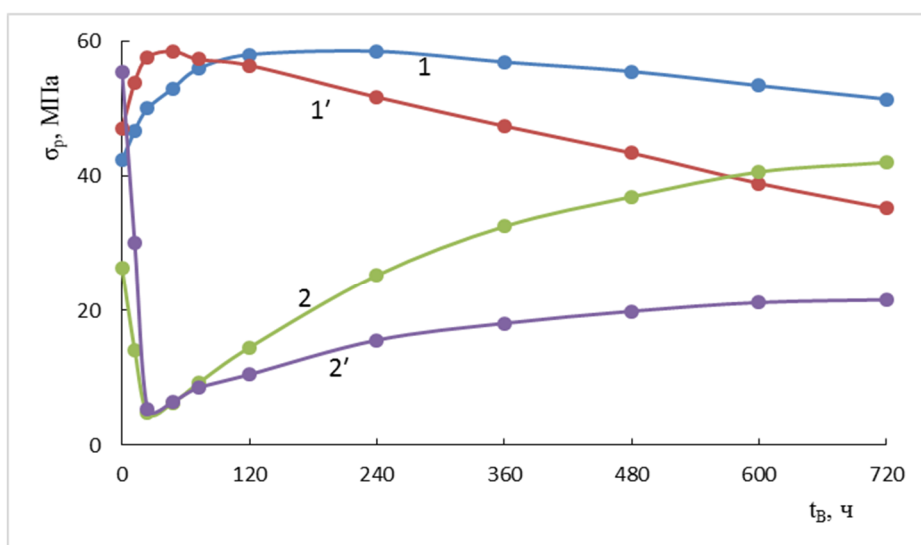


Рис. 5. Зависимость  $\sigma_p$  от времени выдержки  $t_B$  в спирте образцов составов: 1, 1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – ЭД-16 + (УП-583 + ООГ). Образцы отверждены по режимам 20 °C/240 ч (1, 2) и 20 °C/240 ч + 120 °C/3 ч (1', 2')

При выдержке образцов в спирте наблюдается несколько отличная картина (рис. 5). Для образцов, отвержденных УП-583 как без подогрева, так и с термообработкой, отсутствует снижение  $\sigma_p$  при малых  $t_B$ . Уже при  $t_B=12$  ч наблюдается заметный рост прочности. Увеличение  $\sigma_p$  происходит до  $t_B=240$  ч для образцов, отвержденных при комнатной температуре, с образованием максимума, после чего прочность убывает, но тем не менее даже при  $t_B=720$  ч прочность образца, выдержанного в спирте, выше, чем прочность исходного образца (51,5 против 42,4 МПа). Для термообработанного образца максимум прочности достигается уже через 48 ч экспозиции в спирте, а при  $t_B=720$  ч параметр  $\sigma_p$  снижается до значений, меньших, чем начальная прочность (35,3 против 47,1 МПа соответственно). В то же время

для образцов, отвержденных комплексом, при малых временах выдержки (24 ч) в спирте наблюдается резкое снижение прочности на 80-90 %, после чего происходит монотонный подъем значений  $\sigma_p$ .

При этом для образцов, отвержденных при комнатной температуре, их прочность при  $t_B=720$  ч на 61 % выше начальной (42,1 против 26,4 МПа). Для термообработанных же образцов прочность при  $t_B=720$  ч, наоборот, на 61 % ниже, чем у исходного образца (21,6 против 55,6 МПа). Одной из причин такого разного поведения образцов, выдержанных в спирте и воде, может быть существенное отличие в количествах сорбированной жидкой среды (5,24 % в спирте и 1,25 % в воде).

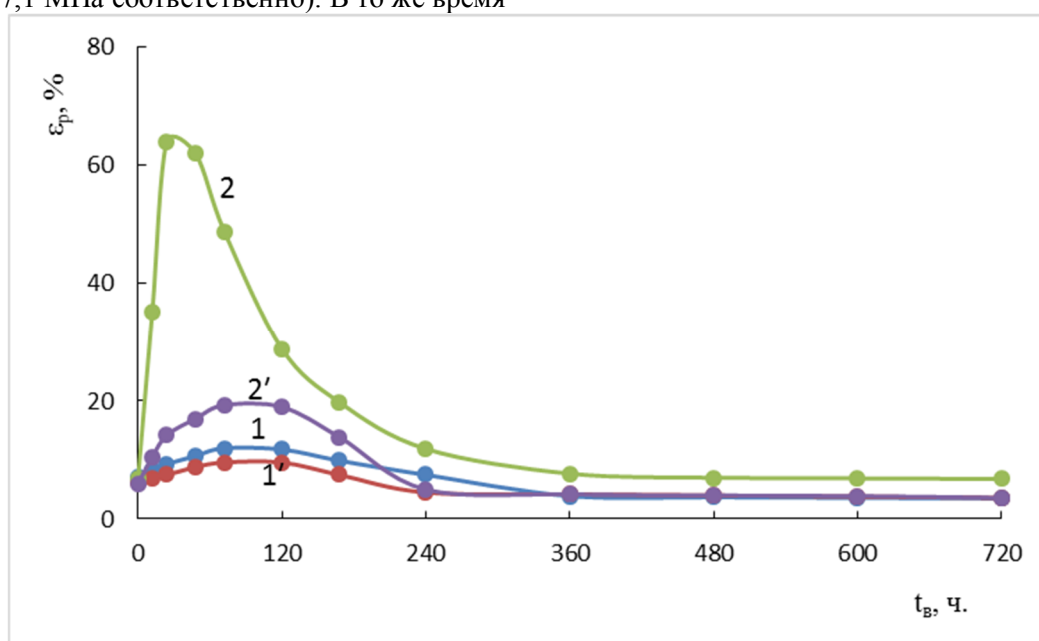


Рис. 6. Зависимость  $\varepsilon_p$  от времени выдержки  $t_B$  в спирте образцов составов: 1, 1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – ЭД-16 + (УП-583 + ООГ). Образцы отверждены по режимам  $20^\circ\text{C}/240$  ч (1, 2) и  $20^\circ\text{C}/240$  ч +  $120^\circ\text{C}/3$  ч (1', 2')

Зависимости деформации при разрыве от времени выдержки в спирте представляют (рис. 6) экстремальные кривые с максимумом при  $t_B=72$  ч для композитов, отвержденных УП-583, как с подогревом, так и без подогрева. После достижения максимума  $\varepsilon_p$  монотонно убывает с увеличением  $t_B$  до значений почти в два раза меньших, чем у исходных образцов. Максимумы на зависимостях  $\varepsilon_p - t_B$  для композитов, содержащих комплексный отвердитель, выражены более рельефно. При этом величина деформации для образца, отвержденного без подогрева, в 9 раз больше, чем у исходного. Для композита, доотвержденного при  $120^\circ\text{C}$ , увеличение деформации также значительно и составляет 3,2 раза.

Как следует из рис. 7, выдержка эпоксидных полимеров в воде приводит также к изменению их температуры стеклования. Видно, что для образцов, отвержденных без подогрева, при малых временах выдержки в воде параметр  $T_{ст}$ , немного снижается только при весьма малых временах выдержки  $t_B=3-5$  ч. Далее с ростом  $t_B$  величина  $T_{ст}$  начинает возрастать, причем особенно интенсивно эффект проявляется в интервале  $t_B$  от 10 до 72 ч, где среднее приращение  $T_{ст}$  составляет примерно  $0,25^\circ\text{C}$  за 1 час водостарения. В интервале  $t_B$  от 72 до 240 ч скорость роста существенно ниже ( $0,012^\circ\text{C}/\text{ч}$ ), а при  $t_B$  от 240 до 720 ч стремится к 0 ( $0,0021^\circ\text{C}/\text{ч}$ ). Рост  $T_{ст}$ , очевидно, свидетельствует об увеличении частоты пространственной сетки в полимере.

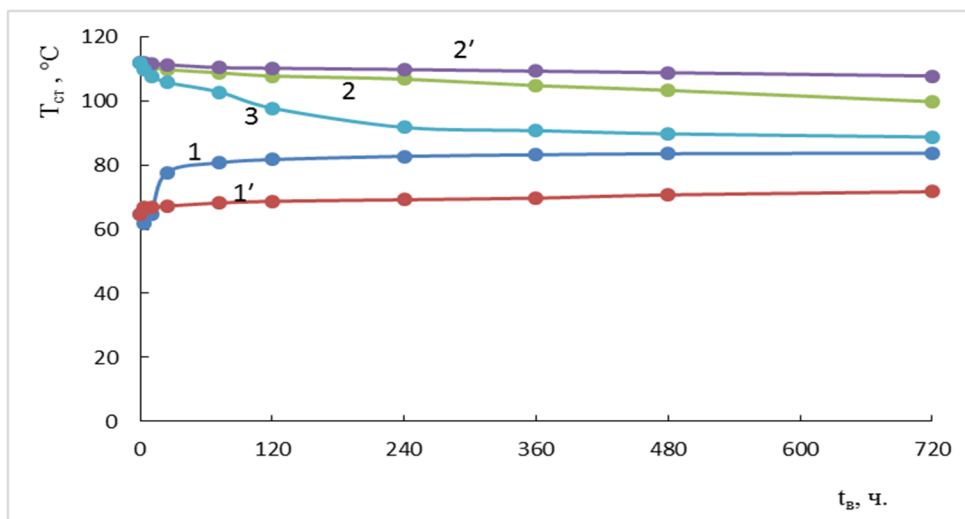


Рис. 7. Зависимость  $T_{ст}$  от времени выдержки  $t_{в}$  для образцов на основе смолы, отвержденной УП-583. Образцы отверждены по режимам  $20\text{ }^{\circ}\text{C}/240\text{ ч}$  (1, 2) и  $20\text{ }^{\circ}\text{C}/240\text{ ч} + 120\text{ }^{\circ}\text{C}/3\text{ ч}$  (1', 2', 3). 1, 2 – выдержка в воде; 1', 2' – на воздухе; 3 – расчетные значения

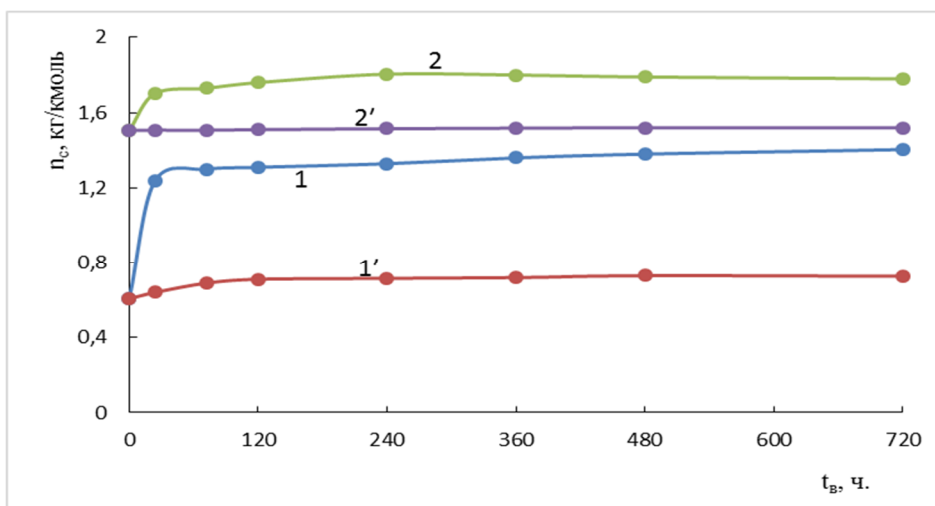


Рис. 8. Зависимость  $\rho_c$  от времени выдержки  $t_{в}$  для образцов на основе смолы, отвержденной УП-583. Образцы отверждены по режимам  $20\text{ }^{\circ}\text{C}/240\text{ ч}$  (1, 2) и  $20\text{ }^{\circ}\text{C}/240\text{ ч} + 120\text{ }^{\circ}\text{C}/3\text{ ч}$  (1', 2'). 1, 2 – выдержка в воде; 1', 2' – на воздухе.

Действительно, результаты расчета плотности химической сетки  $\rho_c$  подтверждают это предположение. Как следует из рис. 8, для образца, отвержденного без подвода тепла извне, в первые часы его экспозиции в воде наблюдается резкий рост  $\rho_c$ , после чего скорость его увеличения быстро убывает. Полученные результаты, на наш взгляд, могут быть объяснены следующим образом. Сорбированная полимером вода, по-видимому, ослабляет физические связи, что приводит к повышению интенсивности молекулярного движения. Вследствие этого возрастает вероятность контакта непрореагировавших реакционноспособных групп и, следовательно, образования дополнительных химических сшивок. В случае старения образцов на воздухе наблюдаемые изменения параметров  $T_{ст}$  (рис. 7, кривая 1') и  $\rho_c$  (рис. 8, кривая 1') крайне незначительны. При

этом и они в большой мере могут быть отнесены к эффекту, связанному с действием влаги, сорбированной из воздуха.

Наблюдаемые результаты дают основание говорить о существенном ускорении процесса доотверждения эпоксиidного полимера в воде на глубоких стадиях конверсии реакционноспособных групп. При этом за сравнительно малое время  $t_{в}$  (24 – 72 ч) достигаются значения параметра  $\rho_c$ , близкие к таковым для термообработанного образца (рис. 8, кривая 2). Для образцов, подвергнутых прогреву, наблюдается несколько отличная картина. Хотя и здесь наблюдается доотверждение образца при выдержке его в воде, что находит отражение в некотором увеличении  $\rho_c$  с ростом  $t_{в}$  (рис. 8, кривая 2'), превалирует эффект пластификации, обуславливающий монотонное снижение  $T_{ст}$  по мере возрастания  $t_{в}$  (рис.



7, кривая 2). Интересно, что для термообработанного полимера уменьшение его теплостойкости во времени наблюдается даже при его старении на воздухе (рис.7, кривая 2'). По-видимому, это связано с пластифицирующим действием влаги, сорбированной из воздуха. Полученные результаты позволяют предположить, что для обеспечения более высокой работоспособности пленочных образцов на основе эпоксидных композиций следует стремиться к достижению некоторой оптимальной, отличной от предельной полноты отверждения.

Как известно, температуру стеклования пластифицированной системы  $T_{ст1,2}$  можно рассчитать в соответствии с уравнением Фокса [28]:

$$1 / T_{ст1,2} = W1 / T_{ст1} + W2 / T_{ст2},$$

где  $W1$  и  $W2$  соответственно весовые доли полимера и пластификатора,  $T_{ст1}$  и  $T_{ст2}$  – их абсолютные температуры стеклования (К).

Рядом исследований [28, 29] было установлено, что переход, соответствующий расстеклованию воды, лежит в интервале температур от 135 до 139К. Взяв среднее значение  $T_{ст2} = 137К$ , можно рассчитать  $T_{ст1,2}$  для эпоксидного полимера, выдержанного в воде. Результаты расчета представлены на рис. 7 в виде кривой 3. Из данного рисунка видно достаточно хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными значениями. Наблюдаемое некоторое превышение экспериментальных значений над расчетными можно объяснить тем, что не вся сорбированная полимерными образцами вода диспергирована на молекулярном уровне. По-видимому, часть ее образует кластеры конечной протяженности, заполняющие микропустоты в образцах. Результаты электронномикроскопических исследований с поверхности скола образцов, содержащих сорбированную в процессе водостарения влагу, подтверждают это предположение.

В свете высказанного предположения о наложении эффектов пластифицирования и доотверждения эпоксидных полимеров при их экспозиции в жидкой среде становится понятным наблюдаемое изменение их деформационно-прочностных свойств под воздействием воды и спирта. При малых  $t_b$  действие сорбируемой влаги (или другой физически активной жидкости) направлено главным образом на ослабление межмолекулярного взаимодействия в образце, вследствие чего снижается его прочность и растет деформативность. При больших значениях  $t_b$ , когда количество поглощенной воды становится достаточно большим и развивается довольно интенсивная молекулярная подвижность, превалируют процессы доотверждения, приводящие к увеличению плотности поперечного сшивания и,

как следствие, к снижению деформационной способности и росту показателя прочности.

Установлено, также, что материалы на основе синтезированного комплекса обладают пониженной горючестью. Их кислородный индекс составляет 26% против 21% у полимеров, отвержденных УП-583. Оценка устойчивости композита к воздействию плесневых грибов, показала, что композиции на основе исследованного комплекса обладают достаточной фунгитоксичностью: степень роста плесени 0 (то есть рост плесени под микроскопом не наблюдается) против 2 (слабое развитие плесени) для образцов на основе исходного отвердителя УП-583. Все это расширяет возможные области применения таких композиций, в первую очередь, в качестве противообрастающих покрытий.

**Выводы.** Таким образом, разработан способ синтеза комплекса на основе оловоорганического галогенида и аминафенольного отвердителя УП-583. Показано, что эпоксидные композиты, содержащие такие комплексы, отличаются хорошим уровнем физико-механических свойств, водостойкостью, повышенной стойкостью к развитию грибков и плесени, а также лучшей огнестойкостью. Исследованные полимеры являются перспективными для получения на их основе противообрастающих покрытий для гидротехнического оборудования, эксплуатирующегося в условиях повышенных температур, при наличии в окружающей среде водорослей, грибков и самых разнообразных микроорганизмов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Звягинцев А.Ю., Полтаруха О.П., Масленников С.И. Обрастание морских систем технического водоснабжения и анализ методов защиты от обрастания в водоводах (аналитический обзор) // Вода: химия и экология. 2015. №1. С. 37–60.
2. Парталы Е.М. Обрастание в Азовском море. Мариуполь: Рената, 2003. 378 с.
3. Rubio D, Lopez-Galindo C., Casanueva J.E., Nebot E.. Monitoring and assessment of an industrial antifouling treatment. Seasonal effects and influence of water velocity in an open once-through seawater cooling system // Applied Thermal Engineering. 2014. Vol. 67. Iss. 1-2. Pp. 378–387.
4. Лубянов И.П. Экспериментальное исследование применения метода защитных электрофильтров для предупреждения проникновения зоокомпонентов обрастания в систему технического водоснабжения // Сб. науч. статей НИИ гидробиологии Днепропетровского университета. 1975. №16. С. 3–26.

5. Патент RU 2713354. МПК C09D163/00, C09D5/16, C08L63/00. Способ получения противообрастающей эмали. Дринберг А.С. АО «Русские краски» (RU); заявл. 26.06.2019; опубл. 04.02. 2020.
6. Патент RU 2703636 МПК C09D163/00, C09D5/16, C08L63/00. Эмаль для атмосферостойкого радиационностойкого дезактивируемого противообрастающего грибостойкого покрытия. Лысов А.А., Мещеряков Ю.Я., Ковальчук Ю.Л., Карпов В.А. ООО «Всероссийский научно-исследовательский институт электроизоляционных материалов ВНИИЭИМ» (RU), АО «научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии- Атомстрой» (RU); завл. 24.12.2018; Опубл. 21. 10. 2019.
7. Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочное пособие; Пер. с англ. Под ред. П.Г. Бабаевского. М.: Химия. 736 с.
8. Мэтьюз Ф., Роллинг Р. Композиционные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. 407 с.
9. Журавлева Н.И., Акопян В.А. Высокомолекулярные соединения: учебное пособие. Часть VI. Синтетические полимеры. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2014. 528 с.
10. Каблов В.Ф., Новопольцева О.М., Кейбал Н.А., Кочетков В.Г., Лапина А.Г., Крюкова Д.А. Элементоорганические олигомерные модификаторы эластомерных композиций // Вестник технологического университета. 2015. Т.18. №14. С. 59–61.
11. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн.2/ Под ред. Дж.Любина; Пер. с англ. А.Б. Геллера и др. Под ред. Б.Э. Геллера. М: Машиностроение, 1988. 584 с.
12. Сорокин М. Ф., Кочнова З.А., Шодэ Л.Г. Химия и технология пленкообразующих веществ. М.: Химия, 1989. 480 с.
13. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 269 с.
14. Халтуринский Н.А. О механизме действия галогенсодержащих ингибиторов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2009. № 11. С. 22–30.
15. Ушков В.А., Абрамов В.В., Лалаян В.М., Кирьянова Л.В. Слабогорючие эпоксидные полимеррастворы, используемые для восстановления и ремонтостроительных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Том 21. №10. С. 36–40.
16. Ушков В.А., Лалаян В.М., Невзоров Д.И., Ломакин С.М. О влиянии фталатных и фосфатных пластификаторов на воспламеняемость дымообразующую способность полимерных композиционных материалов // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Том 22. №10. С. 25–31.
17. Халтуринский Н.А., Рудакова Т.А. Физические аспекты горения полимеров и механизм действия ингибиторов // Химическая физика. 2008. Т. 27. №6. С. 73–84.
18. Ушков В.А., Абрамов В.В., Григорьева Л.С., Кирьянова Л.В. Термостойкость и пожарная опасность эпоксидных полимеррастворов // Строительные материалы. 2011. №12. С. 68–71.
19. Ушков В.А., Лалаян В.М., Ломакин С.М., Невзоров Д.И. О влиянии неразлагающихся наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов // Пожаровзрывобезопасность, 2013. Т. 22. №6. С. 33–37.
20. Ушков В.А., Фиговский О.Л., Копытин А.В., Шувалова Е.А. Воспламеняемость и дымообразующая способность эпоксидных композиционных материалов // Инженерный вестник Дона. 2017. №1. [ivdon.ru/magazine/archive/nly/2017/3991](http://ivdon.ru/magazine/archive/nly/2017/3991).
21. Беев А.А., Микитаев А.К., Ошроева Р.З. Эпоксидные полимеры и компаунды с повышенной огнестойкостью // Пластмассы 1986. №5. С. 53–55.
22. Беев А.А., Микитаев А.К., Беева Д.А. Модифицированные эпоксидные олигомеры, полимеры, композиционные материалы на их основе // Поликонденсационные реакции и полимеры. Избранные труды. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2008. С. 21–45.
23. Беев А.А., Микитаев А.К., Беева Д.А., Якокутова А.А. Перспективные направления в производстве эпоксидных полимеров // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2013. Т.3. №5. С. 6–12.
24. Патент 3622524 США. МПК2С 08 D 30/10. Compositions of epoxy resins cured with organotin compounds. Markowitz M., Kohn L.S. General Electric Co.; заявл. 03.09.1968; опубл. 23.11.1971.
25. Попов Л.К., Пляничник Н.И., Ситкин А.И., Огнева В.А. Фосфор- и оловосодержащие отвердители эпоксидных смол // Пластмассы. 1985. №8. С. 41–42.
26. Жубанов Б.А., Бойко Г.И., Умерзакова М.Б. Исследование механизма катализа кислотами Льюиса реакции образования алициклических полиимидов на модельных соединениях // Высокомолекул соединения. 1988. Т. 30Б. №1. С. 10–14.
27. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978. 336с.

28. Brewis D.M., Comin J., Shalash R.J.A., Togg J.L. Interaction of water with some epoxide adhesives // Polymer. 1980. V.21. No. 3. Pp. 357–360.

29. Иллингер Дж., Шнейдер Н. Взаимодействие воды с эпоксигруппами в трех типах эпоксидных смол и композитах на их основе // Вода в полимерах. Пер. с англ. / Под ред. С. Роуланда. М.: Мир, 1984. С. 528–540.

*Информация об авторах*

**Кочергин Юрий Сергеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры общинженерных дисциплин; E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31

**Носова Алла Николаевна**, аспирант. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

**Кравчук Татьяна Николаевна**, кандидат химических наук. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

**Григоренко Татьяна Ильинична**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

**Золотарева Виктория Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров. E-mail: viktoria802@gmail.com. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Поступила 24.10.2020 г.

© Кочергин Ю.С., Носова А.Н., Кравчук Т.Н., Григоренко Т.И., Золотарева В.В., 2020

**Kochergin Y.S., Nosova A.N., Kravchuk T.N., Grigorenko T.I., \*Zolotareva V.V.**  
Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky  
\*E-mail: viktoria802@gmail.com

## PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES CURED BY A COMPLEX OF ORGANIC TIN HALIDE WITH AN AMINOPHENOL HARDENER

**Abstract.** A method for the synthesis of a complex based on an organic tin halide – dibutylol dibromide – and a aminophenol hardener of the UP-583 brand has been developed. It is found that samples cured with a complex hardener at room temperature are characterized by lower values of tensile strength, elastic modulus and glass transition temperature compared to samples cured with the original hardener UP-583. The values of strain at break are approximately the same for both hardeners. After heat treatment, the strength and modulus values for samples containing the complex sharply increase, as a result of which they are superior to samples based on UP-583. The deformation capacity does not change much, the glass transition temperature increases after heating, but remains significantly lower than for samples cured with the original UP-583. The observed change in the deformation and strength properties of samples during their exposure in a liquid medium is explained by the superposition of the effects of plasticization and re-hardening of epoxy polymers. At low exposure times, the action of the sorbed moisture is mainly aimed at weakening the intermolecular interaction in the sample. In result, its strength decreases and deformability increases. At large values of exposure times, when the amount of sorbed water becomes sufficiently large and a fairly intense molecular mobility develops, pre-hardening processes prevail, leading to an increase in the cross-linking density and, to a decrease in the deformation ability and an increase in the strength index. It is shown that epoxy composites containing a complex hardener are characterized by good performance in the water environment, increased resistance to the development of fungi and mold, as well as better fire resistance. The studied polymers are promising for obtaining antifouling coatings based on them for hydraulic equipment, sea and river vessels.

**Keywords:** epoxy composite, aminophenol hardener, complex, organic tin halide, deformation and strength properties, glass transition temperature, water resistance, fire resistance, antifouling coatings.

## REFERENCES

1. Zvyagintsev A.Yu., Poltarukha O.P., Maslennikov S.I. Fouling of marine systems of technical water supply and analysis of methods of protection against fouling in water pipelines (analytical review) [Obrastanie morskikh sistem tekhnicheskogo vodosnabzheniya i analiz metodov zashchity ot obrastaniya v vodovodah (analiticheskij obzor)]. Water: chemistry and ecology. 2015. No.1. Pp. 37–60. (rus)
2. Partaly E.M. Fouling in the sea of Azov [Obrastanie v Azovskom more]. Mariupol: Renata, 2003. 378 p. (rus)
3. Rubio D., Lopez-Galindo C., Casanueva J.E., Nebot E. Monitoring and assessment of an industrial antifouling treatment. Seasonal effects and influence of water velocity in an open once-through seawater cooling system. Applied Thermal Engineering. 2014. Vol. 67. Iss. 1-2. Pp. 378–387.
4. Lubyantsev I.P. Experimental study of the application of the method of protective electrofilters to prevent the penetration of fouling zoo components into the technical water supply system [Eksperimental'noe issledovanie primeneniya metoda zashchitnykh elektrofil'trov dlya preduprezhdeniya proniknoveniya zookomponentov obrastaniya v sistemu tekhnicheskogo vodosnabzheniya]. Collection of scientific articles of the research Institute of Hydrobiology of Dnepropetrovsk University. 1975. No.16. Pp. 3–26. (rus)
5. Drinberg A.S. Method for obtaining antifouling enamel [Sposob polucheniya protivobrastayushchej email]. Patent RF, no. 2713354, 2020. (rus)
6. Lysov A.A., Meshcheryakov Yu.Ya., Kovalchuk Yu.L., Karpov V.A. Enamel for weather-resistant radiation-resistant decontaminated antifouling fungus-resistant coating [Emal' dlya atmosferostojkogo radiacionnostojkogo dezaktiviruemogo protivobrastayushchego gribostojkogo pokrytiya]. Patent RF, no. 2703636, 2019. (rus)
7. Handbook of fillers and reinforcements for plastics. Trans. from English. Ed. by P.G. Babaevsky. M.: Chemistry. 736 p.
8. Mathews F., Rolling R. Composite materials. Mechanics and technology. Moscow: Technosphere, 2004. 407 p.
9. Zhuravleva N.I., Akopyan V.A. High-Molecular compounds: textbook. Part VI. Synthetic polymers [Vysokomolekulyarnye soedineniya: uchebnoe posobie. Chast' VI. Sinteticheskie polimery]. Samara: publishing house "Samara University", 2014. 528p. (rus)
10. Kablov V.F., Novopol'tseva O.M., Keibal N.A., Kochetkov V.G., Lapina A.G., Kryukova D.A. Organoelementoligomeric modifiers of elastomeric compositions [Elementoorganicheskie oligomernye modifikatory elastomernyh kompozitsij]. Bulletin of the technological University. 2015. Vol.18. No.14. Pp. 59–61. (rus)
11. Handbook of composite materials: in 2 books of Book 2. Ed. by J. Lubin; Trans. from English by A. B. Geller and others. Ed. by B. E. Geller. M.: Engineering, 1988. 584 p. (rus)
12. Sorokin M.F., Kochnova Z.A., Shode L.G. Chemistry and technology of film-forming substances [Himiya i tekhnologiya plenkoobrazuyushchih veshchestv]. M.: Chemistry, 1989. 480p. (rus)
13. Kodolov V.I. Retarders of polymer materials [Zamedliteli gorenija polimernyh materialov]. M.: Chemistry, 1980. 269p. (rus)
14. Khalturinsky N.A. On the mechanism of action of halogen-containing inhibitors [O mekhanizme dejstviya galogensoderzhashchih ingibitorov]. All material. Encyclopedic reference book. 2009. No. 11. Pp. 22-30; No. 12. Pp. 30–37. (rus)
15. Ushkov V.A., Abramov V.V., Lalayan V.M., Kiryanova L.V. Low-combustible epoxy polymer solutions used for restoration and repair building construction [Slabogoryuchie epoksidnye polimerrastvory, ispol'zuemye dlya vosstanovleniya i remonta stroitel'nykh konstrukcij]. Fire and Explosion safety. 2012. Vol. 21. No. 10. Pp. 36–40. (rus)
16. Ushkov V.A., Lalayan V.M., Nevzorov D.I., Lomakin S.M. On the influence of phthalate and phosphate plasticizers on the Flammability and smoke-forming ability of polymer composite materials [O vliyanii ftalatnykh i fosfatnykh plastifikatorov na vosplamenyayemost' dymoobrazuyushchuyu sposobnost' polimernyh kompozitsionnykh materialov]. Fire and Explosion safety. 2013. Vol. 22. No. 10. Pp. 25–31. (rus)
17. Khalturinsky N.A., Rudakova T. A. Physical aspects of polymer combustion and the mechanism of action of inhibitors [Fizicheskie aspekty gorenija polimerov i mekhanizm dejstviya ingibitorov]. Chemical physics. 2008. Vol. 2. No. 6. Pp. 73–84. (rus)
18. Ushkov V.A., Abramov V.V., Grigorieva L.S., Kiryanova L.V. Heat resistance and fire hazard of epoxy polymer solutions [Termostojkost' i pozharnaya opasnost' epoksidnykh polimerrastvorov]. Construction materials. 2011. No. 12. Pp. 68–71. (rus)
19. Ushkov V.A., Lalayan V.M., Lomakin S.M., Nevzorov D.I. On the influence of non-decomposable fillers on the Flammability and smoke-forming ability of polymer composite materials [O vliyanii nerazlagayushchihsya napolnitelej na vosplamenyayemost' i dymoobrazuyushchuyu sposobnost' polimernyh kompozitsionnykh materialov]. Fire and Explosion Safety. 2013. Vol. 22. No. 6. Pp. 33–37. (rus)

20. Ushkov V.A., Figovsky O.L., Kopytin A.V., Shuvalova E.A. Flammability and smoke-forming ability of epoxy composite materials [Vosplamenyayemost' i dymobrazuyushchaya sposobnost' epoksidnykh kompozitsionnykh materialov]. Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 1. ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly/2017/3991. (rus)
21. Beev A.A., Mikitaev A.K., Oshroeva R.Z. Epoxy polymers and compounds with increased fire resistance [Epoksidnye polimery i kompaundy s povyshennoy ognestojkost'yu]. Plast. Masses. 1986. No. 5. Pp. 53–55. (rus)
22. Beev A.A., Mikitaev A.K., Beeva D.A. Modified epoxy oligomers, polymers, composite materials based on them [Modificirovannye epoksidnye oligomery, polimery, kompozitsionnye materialy na ih osnove]. Polycondensation reactions and polymers. Selected works. Nalchik: Kabardino-Balkar state University. 2008. Pp. 21–45. (rus)
23. Beev A.A., Mikitaev A.K., Beeva D.A., Yakokutova A.A. Promising directions in the production of epoxy polymers [Perspektivnye napravleniya v proizvodstve epoksidnykh polimerov]. Izvestiya Kabardino-Balkar state University. 2013. Vol. 3. No. 5. Pp. 6–12. (rus)
24. Markowitz M., Kohn L.S. Compositions of epoxy resins cured with organotin compounds. Application. Pat. USA, no. 3622524, 1971.
25. Popov L.K., Plyanichnik N.I., Sitkin A.I., Ogneva V.A. Phosphorus – and tin-containing hardeners of epoxy resins [Fosfor- i olovosoderzhashchie otverditeli epoksidnykh smol]. Plast. Masses. 1985. No. 8. Pp. 41–42. (rus)
26. Zhubanov B.A., Boyko G.I., Umerzakova M.B. Investigation of the mechanism of catalysis by Lewis acids of the reaction of formation of alicyclic polyimides on model compounds [Issledovanie mekhanizma kataliza kislotami L'yuisa reakcii obrazovaniya aliciklicheskih poliimidov na model'nykh soedineniyah]. Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. B. 1988. Vol. 30. No. 1. Pp. 10–14. (rus)
27. Malkin A.Ya., Askadsky A.A., Kovruga V.V. Methods for measuring mechanical properties of polymers [Metody izmereniya mekhanicheskikh svoystv polimerov]. M.: Chemistry, 1978. 336 p. (rus)
28. Brewis D.M., Comin J., Shalash R.J.A., Togg J.L. Interaction of water with some epoxy adhesives. Polymer. 1980. V. 21. No. 3. Pp. 357–360.
29. Illinger J., Schneider N. Interaction of water with epoxy groups in three types of epoxy resins and composites based on them [Vzaimodejstvie vody s epoksigruppami v trekh tipah epoksidnykh smol i kompozitah na ih osnove]. Water in polymers. Trans. from English. Ed.S. Rowland. M.: Mir, 1984. Pp. 528–540. (rus)

#### Information about the authors

**Kochergin, Yuri S.** PhD, Professor. E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

**Nosova, Alla N.** Postgraduate student, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

**Kravchuk, Tatyana N.** PhD. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

**Grigorenko, Tatyana I.** PhD, Senior Researcher. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

**Zolotareva, Vmtoriya V.** PhD, Assistant professor. Department of Commodity Science and Expertise of Non-Food Products. E-mail: viktorija802@gmail.com. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky. Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

---

Received 24.10.2020

#### Для цитирования:

Кочергин Ю.С., Носова А.Н., Кравчук Т.Н., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. Свойства эпоксидных композитов, отвержденных комплексом оловоорганического галогенида с аминифенольным отвердителем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 89–101. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-89-101

#### For citation:

Kochergin Y.S., Nosova A.N., Kravchuk T.N., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. Properties of epoxy composites cured by a complex of organic tin halide with an aminophenol hardener. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 11. Pp. 89–101. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-89-101