

## Использование стеклопластика для работы с гипохлоритом натрия

**Авторы:**

**Michael Jaeger, Michael G. Stevens, and Georges Kappenstein  
Ashland Performance Materials**

*Ashland , Hauptstrasse. 1, 77694 Kehl, Germany  
E-mail: [gkappenstein@ashland.com](mailto:gkappenstein@ashland.com)  
[www.derakane.com](http://www.derakane.com)   [www.ashland.com](http://www.ashland.com)*

### РЕФЕРАТ

Гипохлорит натрия встречается в различных процессах, таких как, например, водоподготовка / дезинфекция, дезодорация, химический синтез, мокрая очистка газов. Жидкости, содержащие в своем составе гипохлорит натрия, чрезвычайно коррозионно опасны для многих материалов. На протяжении многих лет композиты являются самым предпочтительным конструкционным материалом, что подтверждается данными недавнего отраслевого исследования (1), а также наглядно демонстрируется в многочисленных статьях, опубликованных в различных источниках.

В данном документе приводится обзор главных областей применения гипохлорита, даются как исторические, так и новейшие примеры химической стойкости, а также предлагаются решения для оптимизации срока службы.



## ВВЕДЕНИЕ

Промышленный раствор гипохлорита натрия (обычно содержащий 9 – 15 % активного хлора) стабилизируется с помощью гидроксида натрия. Такой состав гипохлорита, а также его сильная окислительная способность делают его крайне коррозионно опасным по отношению к многим конструкционным материалам.

Следует, однако, отметить, что стабильность гипохлорита натрия зависит от ряда факторов, включающих в себя концентрацию, pH, температуру, а также наличие примесей (металлов). Например, если для приготовления гипохлорита использовалась жесткая вода, то он не будет стабильным из-за присутствия загрязняющих примесей, таких как железо, кальций и другие металлы, которые сделают его более агрессивным по отношению к конструкционным материалам, из которых изготовлена емкость (2, 18). При образовании гипохлорита, например, в химической реакции или при очистке хлора, наблюдаются значительные колебания уровня pH. На диаграмме представлена зависимость химического состава от pH, баланс хлора, хлорноватистой кислоты (HClO) и гипохлорита натрия (NaOCl) в зависимости от pH:

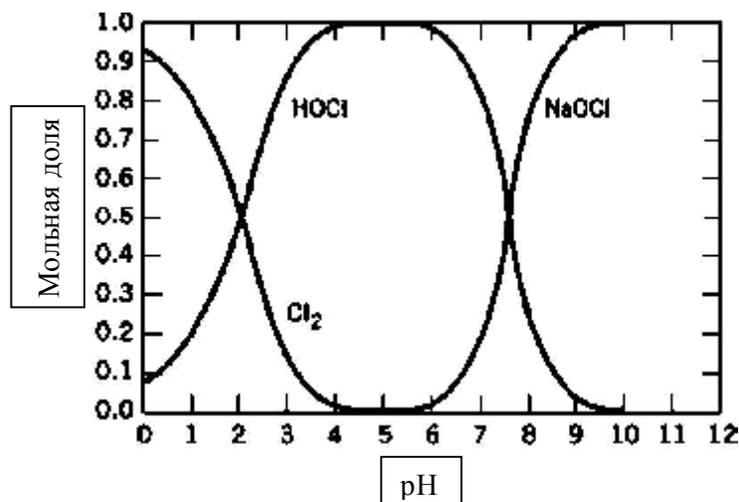


Рисунок 1: Баланс водного хлора, хлорноватистой кислоты и гипохлорита натрия при 25°C (3)

Когда стабильность системы находится под угрозой, могут быть запущены некоторые химические механизмы. Хлорноватистая кислота (HClO) и гипохлорит натрия (в виде ClO<sup>-</sup> иона) разлагаются в результате нескольких возможных реакций, которые могут возникнуть термически, даже при отсутствии какого-либо катализатора (3-8). Эти реакции отражены в Таблице 1, где также приведены расчетные энергии реакций (детальное изучение реакций не приводится):

Реакции	ΔE (ккал/моль)
$2\text{HOCl} = \text{Cl}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	4.7
$2\text{HOCl} = \text{HCl} + \text{HClO}_2$	45.9
$\text{HOCl} + \text{HClO}_2 = \text{HCl} + \text{HClO}_3$	103.3
$\text{HOCl} + \text{HClO}_2 = \text{ClOOCI} + \text{H}_2\text{O}$	-22.7
$\text{HOCl} + \text{ClO}^- = \text{Cl}_2\text{O} + \text{OH}^-$	37.7
$2\text{ClO}^- = \text{Cl}^- + \text{ClO}_2^-$	-12.6
$\text{ClO}^- + \text{ClO}_2^- = \text{Cl}^- + \text{ClO}_3^-$	65.0

Таблица 1: Расчетные энергии реакций (ккал/моль) для пошагового разложения HOCl/ClO<sup>-</sup>

Считается, что любые промежуточные соединения, образующиеся при протекании описанных выше реакций, могут иметь значительное воздействие на различные материалы. Поэтому перед тем, как приступить к выбору конструкционного материала, необходимо тщательно изучить возможные рабочие условия и, соответственно, вопрос стабильности гипохлорита. Следует отдавать предпочтение вариантам, которые исключают нестабильность, или изменять условия проведения процесса таким образом, чтобы добиться стабильности гипохлорита.

## ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Изучение химической стойкости стеклопластика (в соответствии с ASTM C581) в среде гипохлорита натрия обычно проводилось при повышенной температуре. Это было обусловлено желанием установить разницу между системами, которые подвергались исследованию. Обычно исследователи приходили к заключению, что смолы с высокой стойкостью к щелочам, отвержденные с использованием системы, не содержащей кобальт, в ламинатах на основе двойной синтетической вуали NEXUS™ показывают самые лучшие результаты (9). Смотрите пример в Приложении I. Системы, не содержащие кобальт, до сих пор предпочитают по возможности использовать при отверждении бромированных эпоксивинилэфирных смол, как мы увидим ниже.

В свое время изучались пути уменьшения количества (и также вредного влияния) кобальта в стандартных системах отверждения, как с помощью калиевого синергиста, так и заменой кобальта на ванадий. Оба метода показали положительные результаты, но ни один из них до сих пор не нашел практического применения.

## ПЕРЕВОЗКА И ХРАНЕНИЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

Для перевозки и хранения гипохлорита натрия при температуре окружающей среды использовались различные конструкционные материалы, такие как, например, специальные виды полиэтилена (линейный полиэтилен высокой плотности LHDPE, сшитый полиэтилен PEX), хлорированный ПВХ (CPVC), армированные волокном полимеры (композиты) и титан. Титан считается самым лучшим материалом, однако его использование ограничено высокой ценой и недоступностью. Полиэтилен может использоваться в течение 7-11 лет. По данным опроса, проведенного в отрасли в 2004 году (1), композиты на основе эпоксивинилэфирных смол премиум-класса являются основным конструкционным материалом, используемым при изготовлении емкостей для хранения и транспортировки гипохлорита, что подтверждается конкретными примерами более чем 20-летнего срока службы таких изделий. Тщательно сконструированная и правильно изготовленная емкость из композита может использоваться в течение 20-30 лет, а иногда и дольше, при условии регулярного осмотра коррозионного барьера каждые два года и проведения по мере необходимости небольших ремонтов. Если разработке и строительству емкости не уделялось должного внимания, то это может привести к ранним повреждениям, как коррозионного барьера, так и структурной стенки, что, в результате, потребует полной замены емкости менее чем через 5 лет (1, 2, 18). Особая сфера – композитная футеровка для грузовых цистерн, изготавливаемая на емкостях из черной или нержавеющей стали. Срок службы таких изделий также зависит от механической целостности емкости, за счет которой футеровка не отслаивается и поверхность не трескается.

Исходя из практического опыта, мы выделили несколько ключевых моментов, играющих значительную роль в обеспечении надежной работы композитного материала, находящегося в контакте с гипохлоритом натрия при температуре окружающей среды:

- Использование эпоксивинилэфирных смол премиум класса, предпочтительно бромированных;
- Правильно разработанный коррозионный барьер (т.е. двойная поверхностная вуаль, без наполнителей, тиксотропных агентов или красителей), высокая структурная целостность емкости;
- Система отверждения, не содержащая кобальт (допускается низкое содержание кобальта);
- Полное отверждение смолы (постотверждение согласно DIN 18820, если применимо);
- Регулярные осмотры;
- Стабильный раствор гипохлорита натрия ( $\text{pH} > 11$ ,  $T < 40$  °C, отсутствие металлических загрязнений/умягченная вода для разбавления, емкость защищена от воздействия прямых солнечных лучей (особенно паровая фаза), внешнее покрытие труб и т.д.).

## ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования, о которых рассказывается в данной статье, включают в себя лабораторное тестирование образцов при 50 °C и 65 °C, а также тестирование в течение 12 месяцев «по месту» - в емкостях для хранения гипохлорита натрия на двух заводах по очистке сточных вод, расположенных в Колорадо. Целью этих исследований было выявление оптимального типа смолы и конструкции коррозионностойкого барьера для обеспечения максимального срока службы емкостей для хранения гипохлорита натрия (2).

Далее приведены итоги исследований, выполненных с чередованием систем отверждения и понижением температур.

## ПРОЦЕДУРА ЭКСПЕРИМЕНТА

Лабораторные исследования при температурах 50 и 65°C выполнялись в соответствии со стандартом ASTM C-581, посвященным Тестированию химической стойкости композитов. Тестовые ламинаты состояли из 3-х слоев рубленого мата 450 г/м<sup>2</sup>, с вуалью с каждой стороны. Панели отверждались при комнатной температуре, а затем было проведено постотверждение в течение 8 часов при 94 °С. После того, как панели разрезали на образцы необходимого размера, на их края нанесли специальное покрытие, чтобы предотвратить попадание влаги в боковые волокна. Панели были погружены в 10-15% гипохлорит натрия при 50 и 65 °С. Раствор гипохлорита натрия заменяли раз в неделю для поддержания концентрации свободного хлора выше 9% в течение всего времени тестирования. По прошествии 1, 3, 5 и 12 месяцев образцы последовательно извлекали из раствора и проводили оценку сохранения твердости по Барколу, прочности на изгиб, модуля на изгиб, а также визуальный осмотр.

Ламинаты также помещали в 2 емкости для хранения гипохлорита на заводах по очистке сточных вод, расположенных в США. Эти ламинаты извлекали из емкости и проводили оценку по истечении 3, 6 и 12 месяцев.

Лабораторное тестирование и тестирование в двух емкостях проводились с эпоксивинилэфирной смолой на основе бисфенола-А DERAКANE®<sup>1</sup> 411-350 (EVER1), эпоксивинилэфирной смолой на основе бисфенола А HETRON®<sup>1</sup> 922 (EVER2), бромированной эпоксивинилэфирной смолой HETRON® FR992 (BREVER1), бромированной эпоксивинилэфирной смолой DERAКANE® 510A-40 (BREVER2), а также новолачной эпоксивинилэфирной смолой DERAКANE® MOMENTUM 470-300 (NEVER). Смола BREVER1 тестировалась с 2 слоями синтетической полиэфирной вуали, 1 слоем синтетической полиэфирной вуали и 1 слоем вуали из С-стекла. Использовались следующие системы отверждения: Кобальт / пероксид метилэтилкетона (ПМЭК) и пероксид бензоила (ПБ) / Диметиланилин (ДМА). Остальные смолы тестировали с 1 слоем вуали из С-стекла и системой отверждения ПБ/ДМА. Все тестовые образцы постотверждались в течение 8 часов при 94°C.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В Таблице 2 приведены результаты тестирования в стабилизированном гипохлорите натрия при 50°C:

Название смолы	HETRON FR992	HETRON FR992	HETRON FR992	DERAKANE 510A-40	DERAKANE 411-350	HETRON 922	DERAKANE MOMENTUM 470-300
Тип смолы	BREVER1	BREVER1	BREVER1	BREVER2	EVER1	EVER2	NEVER
Система отверждения	Кобальт/ПМЭК	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА
Тип вуали	Полиэфир	Полиэфир	С-стекло	С-стекло	С-стекло	С-стекло	С-стекло
Сохранение прочности на изгиб, %	66	104	93	83	98	93	88
Сохранение модуля на изгиб, %	79	101	93	87	104	93	93
Сохранение поверхностной твердости, %	73	100	98	96	93	98	76
Внешний вид поверхности	Гладкая	Гладкая	Полу глянцевая	Полу глянцевая	Слегка гладкая	Слегка гладкая	Нет глянца
Воздействие на смолу	Умеренное	Легкое	Нет	Нет	Легкое	Легкое	Умеренное, 60% покрытия по краям исчезает

Таблица 2: Результаты тестирования после выдержки в течение 12 месяцев в сред 10 % гипохлорита натрия при 50°C

Ни у одного из тестовых образцов не наблюдалось значительного ухудшения характеристик на изгиб в течение 12 месяцев. Воздействие на поверхность образцов было разнообразным, как следует из результатов визуального осмотра. Самые большие повреждения получила поверхность образцов, изготовленных на основе NEVER смолы DERAKANE MOMENTUM 470-300 и системы отверждения ПБ/ДМА. Шестьдесят процентов покрытия, нанесенного по краям, разрушилось в течение тестового периода. По результатам этих наблюдений можно заключить, что данная смола не может считаться оптимальной для достижения длительного срока службы готового ламината. Тестовые образцы, изготовленные на основе смолы BREVER1 HETRON FR992 с 2-мя полиэфирными вуалями и отвержденные с помощью 0,15% Кобальт 6%/ПМЭК, также имели некоторые поверхностные повреждения. Наблюдалась некоторая потеря блеска, и анализ под микроскопом показал определенное воздействие на пучки полиэфирных волокон. Некоторые полиэфирные волокна исчезли, оставив на своем месте полые каналы. Это показывает, что полиэфирные волокна подверглись воздействию гипохлорита при 50°C. Образцы, изготовленные на основе смолы BREVER1 HETRON FR992 и 1-й полиэфирной вуали, и отвержденные с помощью ПБ/ДМА сохранили свою поверхность в лучшем виде, чем образцы, отвержденные с помощью Кобальта/ПМЭК. Кобальт оказывает каталитическое действие на гипохлорит натрия, причем с повышением температуры этот эффект возрастает. Считается, что продукты распада гипохлорита являются вредными по отношению к смоле и полиэфирной вуали. Ламинаты на основе смол BREVER1 HETRON FR992 и BREVER2 DERAKANE 510A-40 с 1-й вуалью из С-стекла, отвержденные с помощью ПБ/ДМА сохраняли полу гляцевую поверхность, т.е. за 12 месяцев смола не получила повреждений. Образцы из смол EVER1 DERAKANE 411-350 и EVER2 HETRON 922 с 1-й вуалью из С-стекла, отвержденные с помощью ПБ/ДМА, по истечении 12 месяцев имели гладкую поверхность. Они подверглись меньшему воздействию по сравнению с образцами, отвержденными с помощью кобальтовой системы, но несколько большему воздействию по сравнению с образцами на основе смол BREVER1 HETRON FR992 и BREVER2 DERAKANE 510A-40.

Эти же самые образцы поместили в емкости для хранения гипохлорита натрия, расположенные в Тронтоне, Колорадо, США (Таблица 3) и в Вестминстере, Колорадо, США (Таблица 4), для сравнения лабораторных результатов с реальными:

Название смолы	HETRON FR992	HETRON FR992	HETRON FR992	DERAKANE 510A-40	DERAKANE 411-350	HETRON 922	DERAKANE MOMENTUM 470-300
Тип смолы	BREVER1	BREVER1	BREVER1	BREVER2	EVER1	EVER2	NEVER
Система отверждения	Кобальт/ПМЭК	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА
Тип вуали	Полиэфир	Полиэфир	С-стекло	С-стекло	С-стекло	С-стекло	С-стекло
Сохранение прочности на изгиб, %	90	97	113	98	81	83	103
Сохранение модуля на изгиб, %	85	100	109	92	93	92	100
Сохранение поверхностной твердости, %	119	114	113	112	108	108	106
Воздействие на смолу	Незначительно	Нет	Нет	Нет	Очень незначительно	Очень незначительно	Легкое

Таблица 3: Результаты тестирования после выдержки в течение 12 месяцев при температуре окружающей среды в емкости для хранения 10% гипохлорита натрия в Тронтоне, Колорадо

Название смолы	HETRON FR992	HETRON FR992	HETRON FR992	DERAKANE 510A-40	DERAKANE 411-350	HETRON 922	DERAKANE MOMENTUM 470-300
Тип смолы	BREVER1	BREVER1	BREVER1	BREVER2	EVER1	EVER2	NEVER
Система отверждения	Кобальт/ПМЭК	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА
Тип вуали	Полиэфир	Полиэфир	С-стекло	С-стекло	С-стекло	С-стекло	С-стекло
Сохранение прочности на изгиб, %	84	88	131	88	107	87	105
Сохранение модуля на изгиб, %	85	94	103	89	98	89	99
Сохранение поверхностной твердости, %	111	100	113	105	110	100	106
Воздействие на смолу	Незначительно	Нет	Нет	Нет	Очень незначительно	Очень незначительно	Легкое

Таблица 4: Результаты тестирования после выдержки в течение 12 месяцев при температуре окружающей среды в емкости для хранения 10% гипохлорита натрия в Вестминстере, Колорадо

По истечении 12 месяцев не наблюдалось ухудшения механических свойств. Только образец на основе смолы NEVER DERAKANE MOMENTUM 470-300 потерял поверхностный блеск и имел легкие следы воздействия на смолу. Между другими образцами, использованными для тестирования в емкостях, не наблюдалось никакой разницы. Возможно, это было обусловлено низкой температурой, при которой образцы выдерживались.

Эти данные сравнивались с результатами двухгодичного лабораторного исследования, проведенного при температуре 40°C в стабилизированном 8% растворе гипохлорита натрия (5.25% в течение последних 18 месяцев, что было вызвано отсутствием промышленной доступности 8% NaOCl). Использовались следующие смолы:

- EVER3 = DERAKANE MOMENTUM 411-350 Эпоксивинилэфирная смола на основе Бисфенола А
- BREVER3 = DERAKANE MOMENTUM 510C-350 Бромированная эпоксивинилэфирная смола

Эти смолы отверждались с использованием систем с низким и нормальным содержанием кобальта, а также с помощью ПБ/ДМА системы отверждения для каждого случая с целью сравнения результатов. Использовалось 2 слоя полиэфирной вуали NEXUS. Образцы постотверждались в течение 5 часов при температуре 100°C.

Название смолы	DERAKANE MOMENTUM 411-350	DERAKANE MOMENTUM 411-350	DERAKANE MOMENTUM 411-350	DERAKANE MOMENTUM 510C-350
Тип смолы	EVER3	EVER3	EVER3	BREVER3
Система отверждения	ПБ/ДМА	0.03% Кобальта 6% / ПМЭК	0.2% Кобальта 6% / ПМЭК	0.03% Кобальта 6% / ПМЭК
Тип вуали	2x NEXUS™ Полиэфир	2x NEXUS™ Полиэфир	2x NEXUS™ Полиэфир	2x NEXUS™ Полиэфир
Сохранение прочности на изгиб, %	73	96	79	92
Сохранение модуля на изгиб, %	99	97	91	104
Сохранение поверхностной твердости, %	97	103	106	95
Потеря веса, % частично вызвана потерей покрытия по краям	-1.4	-0.3	-2.0	-0.9
Воздействие на смолу	Нет	Нет	Нет	Нет

Таблица 5: Результаты тестирования после выдержки в течение 24 месяцев в стабилизированном 8% / 5,25 % растворе гипохлорита натрия при 40°C

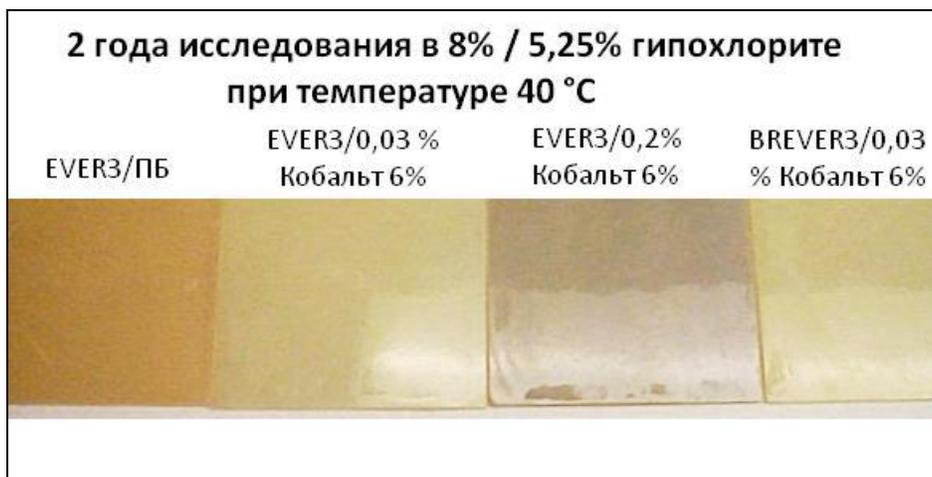


Рисунок 2: Тестовые образцы после выдержки в течение 24 месяцев в стабилизированном от 8 до 5,25 % растворе гипохлорита натрия при 40°C

Все тестовые панели сохраняли блестящую поверхность в течение 24 месяцев и не имели значительных повреждений.

Исследование подтвердило, что при 40°C воздействие кобальта на гипохлорит натрия невелико. Тем не менее, каждый может определить разницу между Кобальтом 6% в количестве 0,03% и 0,2%. Ламинаты на основе смол EVER3 DERAKANE MOMENTUM 411-350 и BREVER3 DERAKANE, отвержденные с использованием 0,03% Кобальта 6%, прекрасно сохранили все свои характеристики. Поэтому мы можем заключить, что небольшие количества кобальта допустимы в случае хранения стабилизированного гипохлорита натрия при температуре окружающей среды. Содержание активного кобальта в системе отверждения может быть снижено, например, путем использования синергиста, такого как калий. Существуют промышленные смеси промотеров кобальта и калия.

Эффект концентрации кобальта уже обсуждался в более ранней работе (12). Тестирование проводилось в 5,25% гипохлорите натрия в течение 10 месяцев при 65°C. Три образца были изготовлены с использованием смолы EVER1 DERAKANE 411-350 и отверждены с помощью 0,1% Кобальта 6%/ПМЭК, 0,3% Кобальта 6%/ПМЭК и ПБ/ДМА. На Рисунке 3 показан график, иллюстрирующий процесс уменьшения веса во времени для этих трех систем. Потеря веса напрямую зависит от количества кобальта. В то время как образец, отвержденный с помощью ПБ/ДМА теряет

только 2% от своего веса, образцы, отвержденные с использованием кобальта, теряют соответственно 18 % (0,3% Кобальта 6%) и около 7% (0,1% Кобальта 6%).

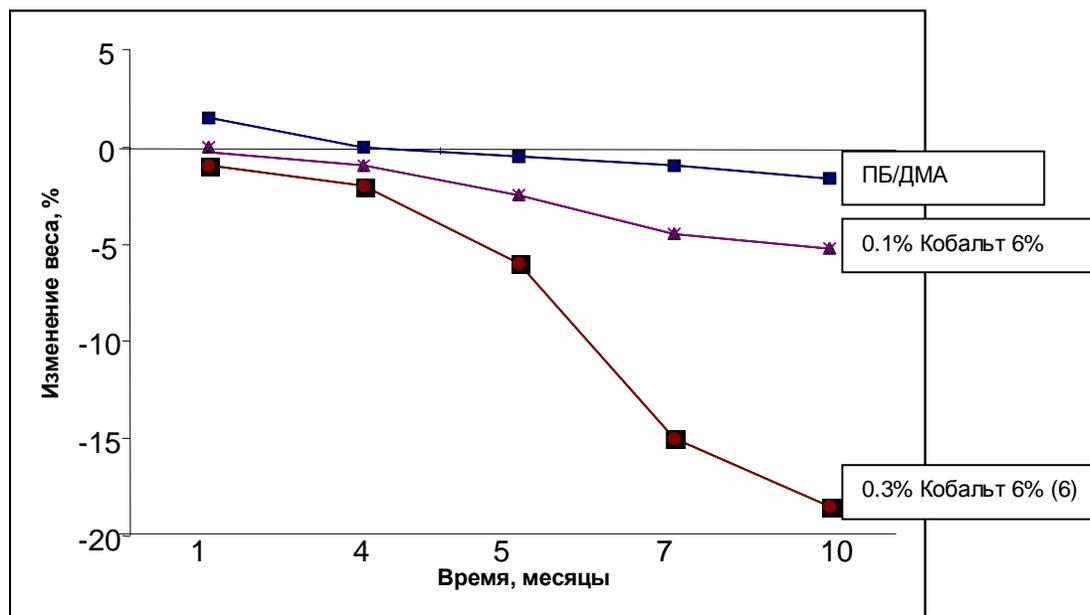


Рисунок 3: Изменение веса в зависимости от времени для образцов на основе смолы EVER1 DERAKANE 411-350, выдержанных в 5,25% гипохлорите натрия при 65°C.

Для изучения влияния типа вуали на стойкость ламината, было проведено дополнительные испытания со смолой BREVER1 HETRON FR992 при 65°C в 10% гипохлорите натрия. Первый образец отверждали с помощью ПБ/ДМА и использовали 1 слой вуали из С-стекла. Второй образец был также отвержден с помощью ПБ/ДМА, но в этом случае использовалась стандартная синтетическая полиэфирная вуаль. Результаты эксперимента приведены в Таблице 6.

Название смолы	HETRON FR992	HETRON FR992
Тип смолы	BREVER1	BREVER1
Система отверждения	ПБ/ДМА	ПБ/ДМА
Тип вуали	Полиэфир	С-стекло
Сохранение прочности на изгиб, %	29	71
Сохранение модуля на изгиб, %	26	65
Сохранение поверхностной твердости, %	0	47
Поверхностное воздействие	Умеренное	Легкое

Таблица 6: Результаты тестирования после выдержки в течение 12 месяцев в среде 10% гипохлорита натрия при температуре 65°C

Образец на основе стандартной синтетической полиэфирной вуали по прошествии 12 месяцев имел повреждения, его поверхность потеряла твердость, свойства гибкости сохранились лишь на 28%. Образец из С-стеклянной вуали сохранил 47% изначальной поверхностной твердости и 70% свойств гибкости. Повышенная температура ускорила процесс распада гипохлорита натрия, что сделало данное тестирование очень жестким. Во время тестирования, проводимого при 50°C, было видно, что стандартная синтетическая полиэфирная вуаль подверглась воздействию гипохлорита натрия, что и объясняет разницу, которую мы видели при 65 °C.

## ДРУГИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

К другим областям, где используется гипохлорит натрия или его производные при изменяющемся pH (смотрите Рисунок 1), относятся щелочные скрубберы, удаляющие хлор из отходящих или топочных газов. Не смотря на то, что удаляющие хлор скрубберы, так как, например, на хлор-щелочных заводах, удовлетворительно работают с четко определенным перечнем химикатов (гидроксид натрия, хлор, гипохлорит натрия), топочные газы от, например, промышленных печей для сжигания мусора, требуют особого подхода и поиска индивидуальных решений для обеспечения длительного срока службы оборудования. Классический набор, используемый для таких систем очистки топочных газов, состоит из охладителя, кислотного скруббера, обычно удаляющего HCl с соляной кислотой, расположенного за ним щелочного скруббера, нейтрализующего остаточный HCl и удаляющего хлор. Однако, уровень pH на втором этапе обычно поддерживается около 8-9 для того, чтобы ограничить потребление NaOH (повышенный pH также удаляет CO<sub>2</sub>). Как следствие, хлор не полностью превращается в стабильный гипохлорит натрия, являясь чрезвычайно агрессивным преимущественно в газовой фазе и действуя на уплотнения скруббера. Повышенная температура (> 50°C) может усилить это агрессивное воздействие. Пример такой системы скрубберов приведен на Рисунке 4:



Рисунок 4: Скруббер для топочного газа (слева: нейтрализационная колонна после HCl-абсорбера), топочные газы, содержащие HCl и Cl<sub>2</sub>, очищаются с помощью NaOH / NaOCl при pH 9 и T = 65 °C, использовалась эпоксивинилэфирная смола на основе бисфенола-А, система отверждения на основе ПБ. В результате нестабильности гипохлорита через 5 лет использования возникла необходимость локального восстановления химически стойкого барьера (14).

Не смотря на то, что система отверждения на основе ПБ может помочь увеличить срок службы изделия по сравнению с ламинатом, отвержденным с использованием кобальтовой системы, даже в этом случае все равно обычно требуется проведение локальных ремонтов на химически стойком барьере, и такая необходимость считается приемлемой. Однако, во многих случаях добавление восстановителя, такого как, например, бисульфит натрия, обычно практикуется в целях предотвращения образования химически нестабильного гипохлорита и повышения эффективности работы скруббера. Ссылки 15, 16 и 17 дают обзор химии, связанной с реакцией «дехлорирования». Наиболее экономически эффективный восстановитель – метабисульфит натрия. Предлагается растворять метабисульфит натрия в воде для получения раствора бисульфита натрия и дозирования его в соотношении 3 грамма метабисульфита натрия на 1 грамм хлора, хотя теоретически требуется соотношение всего лишь 1,34 на 1. Использование восстановителя повышает срок службы щелочных композитных скрубберов и обычно устраняет необходимость проведения периодических работ по восстановлению химически стойкого барьера в процессе эксплуатации оборудования.

## РЕЗЮМЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тестирование при температуре окружающей среды в емкости для хранения гипохлорита натрия и в условиях лаборатории показало лишь небольшую разницу между бромированными эпоксивинилэфирными смолами и стандартными эпоксивинилэфирными смолами на основе бисфенола А. Эпоксивинилэфирные смолы на основе новолака имели некоторые отметки, свидетельствующие о воздействии на смолу. Лабораторные исследования, проведенные при температуре 50°C, усилившей это воздействие, показали преимущество бромированных эпоксивинилэфирных смол перед стандартными эпоксивинилэфирными смолами на основе бисфенола А. Обычная синтетическая полиэфирная вуаль не имела в этом испытании никаких преимуществ перед вуалью на основе С-стекла, в то время как термически связанная синтетическая вуаль, как, например, NEXUS, значительно превосходит как стандартную синтетическую, так и вуаль на основе С-стекла. Это также можно отнести и к относительно толстому слою, богатому смолой, для создания которого и используется вуаль.

Основные факторы, влияющие на срок службы емкостей для хранения гипохлорита натрия:

- Количество кобальта в смоле, что особенно важно при повышенных температурах;
- Степень отверждения, как демонстрируется в исторических примерах и полевых испытаниях;
- Условия использования, влияющие на стабильность продукта (рН, загрязнения, температура, солнечный свет...)

Системы отверждения, не содержащие кобальта (ПБ/Амин) для достижения наилучших результатов обычно требуют пост отверждения. Поэтому нет необходимости выбирать такие системы, например для ламината футеровки на стальной емкости, если пост отверждение при 80°C не представляется возможным. Классическая система отверждения, содержащая ПМЭК/низкое количество Кобальта, часто в этом случае показывает прекрасные результаты, обеспечивая стабильность раствора гипохлорита натрия при температуре ниже 40°C.

Использование восстановителя, такого как, например, бисульфит натрия в щелочных скрубберах для содержащих хлор отходящих топочных газов от мусоросжигательных печей может значительно расширить срок службы оборудования и устранить необходимость восстановления коррозионностойкого барьера.

## ССЫЛКИ

1. Industry survey performed by Dow Chemical, 2004. Internal Information.
2. Michael G. Stevens, "What is the Best Resin for FRP Sodium Hypochlorite Storage Tanks?", NACE 2008
3. Farr, J. P.; Smith, W. L.; Steichen, D. S. "Bleaching Agents, Survey." Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, 1996. (Article online posting date December 4, 2000). See also references therein.
4. Lister, M. W. "The Decomposition of Hypochlorous Acid." Can. J. Chem. 1952, 30, 879-889.
5. Lister, M. W. "The Decomposition of Hypochlorite: The Uncatalyzed Reaction" Can. J. Chem. 1956, 34, 465-478.
6. Cotton, F. A.; Wilkinson, G.; Murillo, C. A.; Bochmann, M. Advanced Inorganic Chemistry. 6th ed. John Wiley & Sons, New York: 1999.
7. Anbar, M.; Ginsburg, D. "Organic Hypohalites." Chem. Rev. 1954, 54, 925-928. See also references therein.
8. Abramovici, S.; Neumann, R.; Sasson, Y. "Sodium Hypochlorite as Oxidant in Phase Transfer Catalytic Systems. Part I. Oxidation of Aromatic Aldehydes." J. Mol. Catal. 1985, 29, 291-297. Part II. Oxidation of Aromatic Alcohols." J. Mol. Catal. 1985, 29, 299-303.
9. T. W. Cowley and M. A. Robertson, "The effect of pH and temperature on Fiberglass Reinforced Composites in Sodium Hypochlorite solutions", NACE, 1991
10. "Sodium Hypochlorite General Information for the Consumer", Odyssey Manufacturing Co., March 21, 2004
11. ASTM C-581 Standard Practice for Determining Chemical Resistance of Thermoset Resins used in Glass-Fiber Reinforced Structures Intended for Liquid Service, Annual Book of ASTM Standards, July, 2003.
12. Don Kelley, "Fiberglass Reinforced Plastic Equipment for Treating Waste Incineration Gases", Corrosion 2004 paper # 04617, (Houston, TX, NACE, 2004)
13. Jonathon Mason, Paul Kelly, "Low Cobalt Initiated Glass Reinforced Plastic Systems for Bleach Service", 10th International Symposium on Corrosion in the Pulp and Paper Industry (ISCPPI, 2001).
14. DERA KANE Resin Case History E-131-2005, Ashland Inc.
15. Richard Grubbs and Tom Ladshaw, "Low Cost Approach for Dechlorination", Proceedings of the Georgia Water Resources Conference, 1991, University of Georgia
16. Kinetic Systems Inc., "Technology Update: Use of Sulfites to remove Chlorine or Chloramine in High Purity Water", June 28, 2002, [www.kineticsgroup.com](http://www.kineticsgroup.com)
17. FILMTEC™ Membranes, "Water Chemistry and Pretreatment: Biological Fouling Prevention, Chlorination/Dechlorination", Form No. 609-02034-1004, The dow chemical company, [www.dow.com](http://www.dow.com)
18. Powell, "Sodium Hypochlorite Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) Storage Tank Specification" and "Sodium Hypochlorite General Information Handbook", [www.powellfab.com](http://www.powellfab.com)

## ОТКАЗ ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Информация, представленная в данном документе, предназначена только для ознакомления. Мы не даем никаких гарантий, прямо выраженных или подразумеваемых. Мы также хотим отметить, что данная статья предназначена для специалистов, имеющих опыт работы со стеклопластиком, которые должны понимать, что они несут полную ответственность за выбор материалов, процесс изготовления и установку оборудования. Не имея возможности контролировать перечисленные выше операции, мы не даем никаких гарантий по качеству готового продукта. НЕ ДАЕТСЯ НИКАКИХ ГАРАНТИЙ. ИСКЛЮЧАЮТСЯ ВСЕ ГАРАНТИИ ПО ПРИГОДНОСТИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В КОНКРЕТНЫХ СЛУЧАЯХ.

© Copyright Ashland

® Registered trademark, Ashland

™ Trademark, Precision Fabrics Group

**Результаты коррозионного тестирования  
эпоксивинилэфирной смолы DERAКANE 411-45**

5,25% гипохлорит натрия при 98 °С, выдержка в течение 3-х месяцев

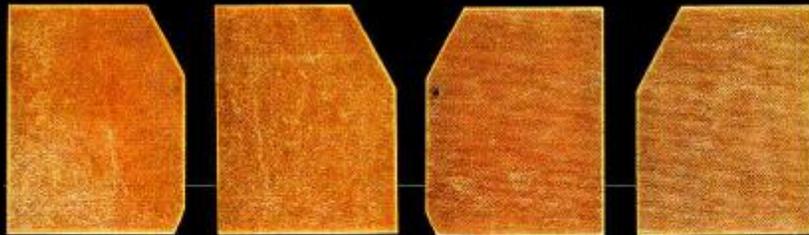
Коррозионно  
стойкая  
футеровка на  
основе С-  
стекла,  
образец не  
постотвержда  
лся

Коррозионно  
стойкая  
футеровка на  
основе С-  
стекла,  
образец  
постотвержда  
лся

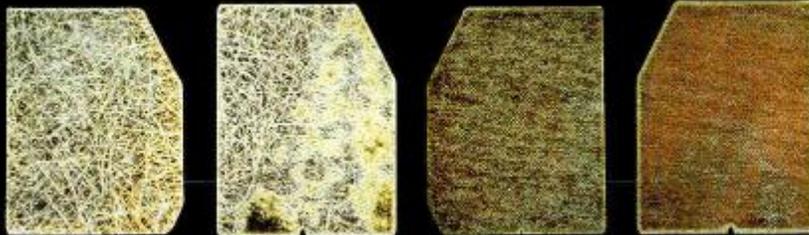
Коррозионно  
стойкая  
футеровка на  
основе вуали  
NEXUS  
образец не  
постотвержда  
лся

Коррозионно  
стойкая  
футеровка на  
основе вуали  
NEXUS  
образец  
постотвержда  
лся

Система отверждения  
пероксид  
бензола/диметиланилин



Система отверждения  
ПМЭК/1% нафтената  
кобальта



Система отверждения  
ПМЭК/3% нафтената  
кобальта

