Растущая роль стеклопластика в системах газоочистки

T. Johnson, D. Kelley, M. Stevens

Ashland Performance Materials

5200 Blazer Parkway

Dublin, Ohio 43017

USA

РЕФЕРАТ

Руководители современных стран начинают проявлять все больше и больше заботы о воздухе, которым мы дышим. Агентства по стандартизации интенсивно внедряют правила и стандарты по контролю над загрязнением воздуха, которые требуют использования сложного очистного оборудования для газов, выделяющихся при работе энергетических установок. Системы контроля над загрязнением воздуха работают с чрезвычайно коррозионной средой, опасной как для нержавеющей стали, так и для сплавов с высоким содержанием никеля. В результате все чаще и чаще производители обращаются к стеклопластику на основе эпоксивинилэфирной смолы, предпочитая его традиционным конструкционным материалам.

Спрос на коррозионностойкие композиты на основе эпоксивинилэфирных смол значительно возрос в 2006 году, когда цены на никель поднялись с 6 долларов/фунт до 15 долларов/фунт. Цены на никель продолжили возрастать, превысив отметку в 22 доллара/фунт в 2007 году. Однако цены на никель и никелевые сплавы с того момента значительно снизились, поэтому данные конструкционные материалы продолжают превалировать над стеклопластиком.

За 60 лет активного использования стеклопластик заслужил репутацию материала, не требующего больших затрат на обслуживание, цены на который достаточно стабильны. Стеклопластик обеспечивает разработчикам надежное, экономически выгодное решение, которое подходит для множества областей применения в системах газоочистки – от скрубберов и футеровки дымоходов до трубопроводов и емкостей очистки сточных вод. Хотя другие материалы могут успешно конкурировать со стеклопластиком в вопросе цены, их использование обычно обходится гораздо дороже, что обусловлено высокими затратами на обслуживание. В этой статье проводится сравнение стеклопластика, сплава с высоким содержанием никеля и нержавеющей стали, работающих в условиях «влажного процесса» в системе очистки дымовых газов. Представлены также относительные цены и данные по работе в коррозионно опасной среде.

© 2011, Ashland Inc

ВВЕДЕНИЕ

Ожидается, что в следующем десятилетии владельцы электростанций, работающих за счет сжигания угля, потратят приблизительно 200 миллионов долларов на установку систем очистки дымовых газов на существующих и новых установках по сжиганию угля. Большая часть таких инвестиций придется на Китай и США. Многие развивающиеся страны, такие как Индия и Южная Африка, также делают значительные вложения в развитие технологий контроля над загрязнением окружающей среды. Весь мир озабочен проблемой защиты воздуха, которым мы дышим, ведь для грядущих поколений он может превратиться в весьма ограниченный ресурс.

В прошлом оборудование, предназначенное для контроля над загрязнением воздуха, изготавливалось обычно из нержавеющей стали и других стойких сплавов с высоким содержанием никеля, что было вызвано коррозионной опасностью, присущей процессам очистки. До 2006 года основным конструкционным материалом для оборудования, работающего во «влажных процессах» очистки дымовых газов на сжигающих уголь электростанциях были сплавы с высоким содержанием никеля. Однако недавно было обнаружено, что рабочая среда, характерная для «влажных процессов» газоочистки, зачастую содержит крайне высокий уровень хлоридов и фторидов, чрезвычайно агрессивных по отношению к нержавеющей стали. Кроме того следует отметить, что цены на нержавеющую сталь и сплавы с высоким содержанием никеля сильно повысились, в результате чего коррозионностойкое оборудование, изготовленное на их основе, стало крайне дорогим по сравнению с другими конструкционными материалами. Это спровоцировало небывалый спрос на более дешевые коррозионностойкие материалы.

Стеклопластик долго и успешно применяется для изготовления элементов систем контроля над загрязнением воздуха в различных областях промышленности. Наиболее часто стеклопластик используется для создания футеровки дымоходов, емкостей для хранения различных химикатов, трубопроводов для известняковой пульпы, а также систем очистки с низким pH/высоким содержанием хлоридов. Оборудование для контроля над загрязнением воздуха, изготовленное из стеклопластика, относительно недорогое по сравнению со сплавами. Его использование берет свое начало в 1973 году.

Для систем контроля над загрязнением воздуха можно использовать альтернативные материалы – углеродистую сталь с резиновой футеровкой или углеродистую сталь, футерованную кислотостойким кирпичом. Эти материалы, однако, не обладают необходимым сроком службы и не представляют интереса в вопросе цены. В этом отчет стеклопластик сравнивается с другими материалами по сроку службы и цене при использовании в системах очистки воздуха.

СТОИМОСТЬ СТЕКЛОПЛАСТИКА В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

С возрастанием цен на никель стеклопластик стал по-настоящему конкурентоспособным конструкционным материалом. Общая стоимость стеклопластика варьируется в пределах от 50 до 70 долларов на квадратный фут в Северной Америке (цены в других странах могут отличаться). Этот материал значительно дешевле, чем нержавеющая сталь (Таблица 1) и плакированная сталь С-276. Кроме того, стеклопластик характеризуется гораздо более длительным сроком службы при условии работы в среде хлоридов или фторидов, что характерно для систем газоочистки.

Таблица 1. Сравнение цен на конструкционные материалы за период с 2006 по 2009 гг.

Конструкционный материал	Цена*	Соотношение цен
Стеклопластик заводского производства	50 долларов США за 1 кв. фут	1,0
Стеклопластик, изготовленный «на месте»	70 долларов США за 1 кв. фут	1,4
Лист нержавеющей стали 2205 толщиной 3/8 дюйма	225 долларов США за 1 кв. фут	4,4
Плакированная углеродистая сталь С-276	330 долларов США за 1 кв. фут	6,6

*цены получены в результате опроса, проведенного Ashland North America в 2011

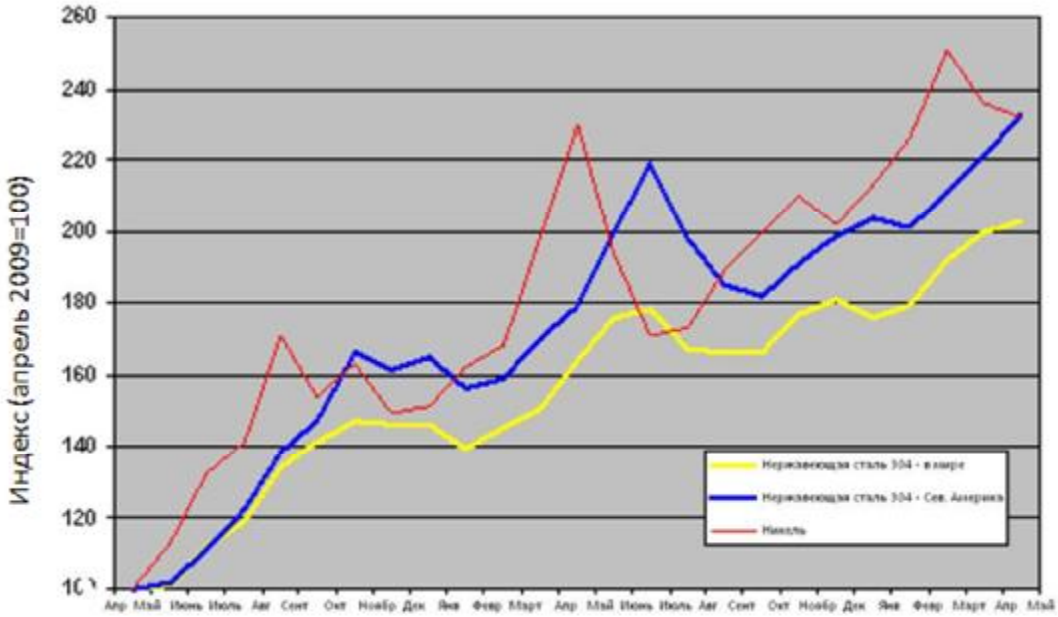
Разница в ценах на материалы становится существенной, когда речь идет и больших коррозионностойких структурах, используемых в системах газоочистки. Один из недавних примеров – это стеклопластиковый зонт выходной трубы, разработанный для скруббера Advantech, установленного на тепловой электростанции, расположенной на юге США (Рисунок 1). Длина зонта составляла приблизительно 128 футов, ширина 34 фута, а высота 32 фута. Разработка зонта с использованием стеклопластика вместо стали С-276 позволила сэкономить 4,2 миллиона долларов. Зонт был собран на земле и поднят наверх как единое целое, что также снизило затраты на строительство, труд и подъем.

Рисунок 1. Использование стеклопластика взамен стали С-276 позволило сэкономить 4,2 миллиона долларов



Цены на нержавеющую сталь продолжают расти одновременно с ценами на никель. Так как глобальная экономика постепенно укрепляется, а развивающиеся страны расширяют внутреннее строительство, ожидается, что цены на основные металлы – медь, никель и нержавеющую сталь – продолжат расти (Рисунок 2). К тому же доступность нержавеющей стали и сплавов с высоким содержанием никеля снижается, и время поставки значительно возрастает.

Рисунок 2. Изменение цен на нержавеющую сталь и никель – Апрель 2009-2010



Источник: International Monetary Fund; MEPS Ltd

ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ СТЕКЛОПЛАСТИКА ПО СРАВНЕНИЮ С МЕТАЛЛАМИ

Химическая стойкость – это ключевой фактор, позволяющий предсказать срок службы стеклопластика, работающего во «влажных процессах» систем очистки газа. По результатам сравнения с металлами (Таблица 2) можно утверждать, что стеклопластик на основе эпоксивинилэфирной смолы имеет хорошую или даже лучшую химическую стойкость, чем сплав С-276 и превосходит нержавеющую сталь по всем показателям.

Стеклопластик характеризуется необычайно высокой стойкостью к растворенным хлоридам и серной кислоте умеренных концентраций. Стеклопластик превосходит сплавы по показателям работы в среде водного хлорангидрида. Основываясь на более чем 30-летнем опыты работы и исследований можно сделать вывод, что стеклопластик на основе эпоксивинилэфирной смолы характеризуется высокой химической стойкостью, необходимой для обеспечения длительного срока службы.

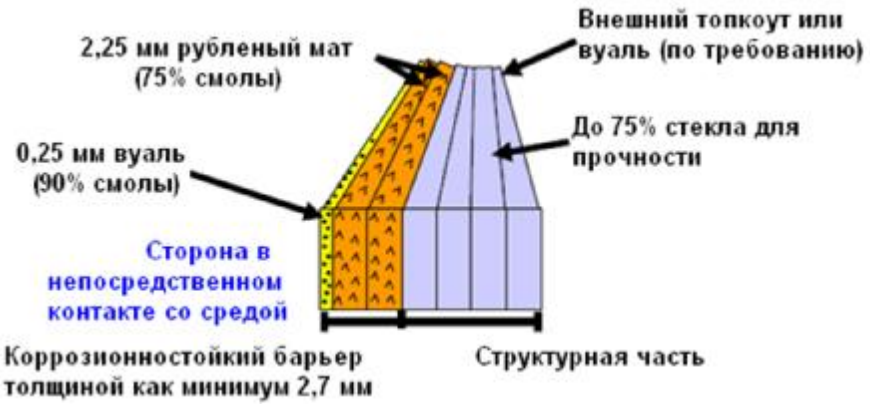
Таблица 2. Сравнение химической стойкости эпоксивинилэфирной смолы и металла

Материал	Серная кислота	Соляная кислота	Соли хлорангидрида
Стеклопластик на основе эпоксивинилэфирной смолы	100 °C до 30%	80 °C до 15%	100 °C все концентрации
Нержавеющая сталь 2205	30 °C до 30%	60 °C до 1%	65 °C до 2000‰ при низком pH
Сплав C-276	100 °C до 30%	80 °C до 15%	65 °C до 50 000‰ при низком pH

КОНСТРУКЦИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО СТЕКЛОПЛАСТИКА

Стеклопластик представляет собой ламинат на основе волокон из E-стекла и термореактивной смолы (Рисунок 3). Коррозионностойкий стеклопластик изготавливается с применением эпоксивинилэфирной смолы высшего качества. Коррозионностойкий барьер, находящийся в непосредственном контакте с рабочей средой, характеризуется высоким содержанием смолы, что обеспечивает максимальную стойкость. Структурные слои имеют повышенное содержание стекла для оптимальной прочности и модуля.

Рисунок 3. Типичная структура коррозионностойкого ламината



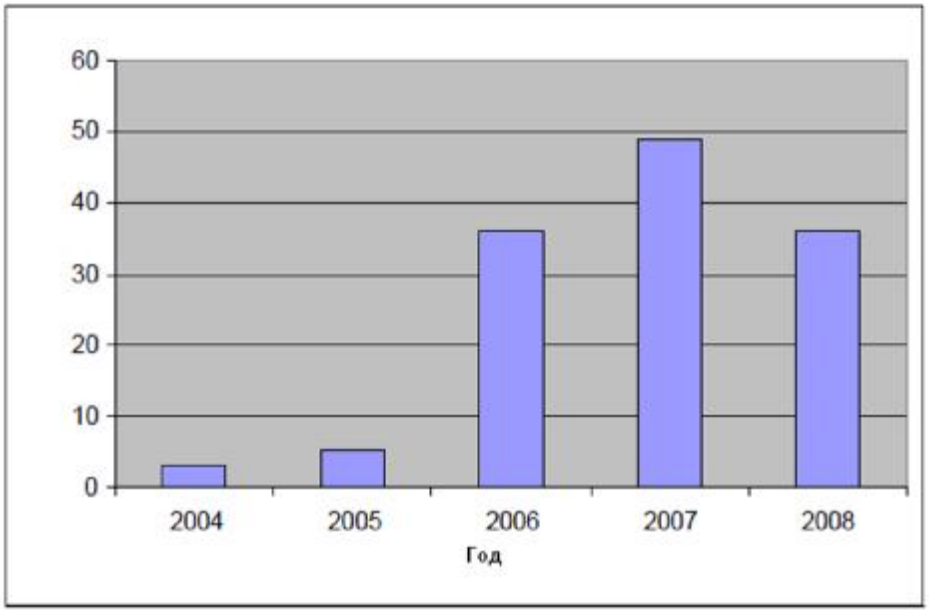
Для большинства случаев во влажных условиях максимальная рабочая температура составляет 100 °C с кратковременным подъемом до 120°C. В случае сухих условий рабочая температура составляет 177 °C с кратковременным подъемом до 204 °C. Так как не все смолы подходят применение в процессах, для которых характерен термический цикл или кратковременный подъем температуры, при разработке оборудования важно проконсультироваться с производителем смолы.

РАСТУЩАЯ РОЛЬ СТЕКЛОПЛАСТИКА ВО ВЛАЖНЫХ ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ГАЗА

В 2005 году Агентство по защите окружающей среды ввело «Междуштатные правила чистого воздуха». Целью введения этих правил было снижение выбросов диоксида серы (SO_2) на 70% и оксидов азота (NO_x) на 60% в 28 восточных штатах США к 2015 году. В тот же год Агентство ввело «Правила защиты воздуха от ртути» с целью значительно снизить выбросы ртути с тепловых

электростанций (сжигающих уголь) в тех же самых штатах. Эти знаковые постановления создали бескрайние возможности для проектов по изготовлению систем контроля над загрязнением воздуха на промышленных предприятиях, сжигающих уголь. В период с 2004 по 2005 год было реализовано всего 8 проектов строительства футеровок дымоходов. Однако в период с 2006 по 2008 год было создано уже 118 футеровок для дымоходов (35 в 2006 году, 49 в 2007 и 34 в 2008).

Рисунок 4. Стеклопластиковые футеровки дымоходов, установленные с 2004 по 2008 гг.



Большинство предприятий, на которых были установлены футеровки дымоходов, расположены в восточной части США, несколько на Среднем Западе и на юге США. Кроме футерованных дымоходов были построены 24 пузырьковых скруббера, 75 трубопроводов для транспортировки пульпы, десятки стеклопластиковых труб и более 50 стандартных асборбционных башен.

Ожидается, что срок службы стеклопластиковых футерованных дымоходов достигнет срока службы всей электростанции с учетом небольших текущих ремонтов. По этому показателю стеклопластик превосходит футеровку на основе плакированной стали С-276. Покрытие на основе хлопьев стекла превосходит углеродистую сталь, однако требует регулярных осмотров и ремонтов каждые 8 лет и полной замены через 15-18 лет. Кирпичная футеровка требует гораздо большего количества текущих ремонтов, а срок ее службы в несколько раз короче, чем у стеклопластика.

ОПЫТ РАБОТЫ С НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛЬЮ

Начиная с 2004 года на электростанциях США, сжигающих уголь, было установлено около 130 скрубберов для газоочистки. Большинство этих скрубберов было построено с использованием нержавеющей стали. Через короткий промежуток времени при использовании такого оборудования возникли серьезные проблемы, вызванные коррозионным воздействием агрессивной среды. В некоторых случаях не прошло и года с момента установки. Аустенитные и

дуплексные нержавеющие стали были в значительной степени повержены щелевой коррозии, причем, как показал осмотр, наиболее уязвимой оказалась дуплексная нержавеющая сталь 2205.

Рабочая среда, характерная для скрубберов газоочистки, чрезвычайно опасна для металлов. Зона погружения в скрубберах работает при температуре около 52 °C и pH 5. Концентрации хлоридов обычно находятся в пределах 5 000 промилле, однако сообщалось о концентрациях, достигающих 20 000 промилле (это зависит от того, какой источник угля использовался). Растворы фторидов – еще один враг металлов. Недавняя работа, проведенная DNV[1], показала, что сплав 2205 не обладает достаточной стойкостью к коррозии при условии работы со средой, характерной для абсорберов, в частности, в присутствии минеральных отложенний. Ожидается, что подавляющее большинство этих скрубберов придется футеровать или вовсе заменять в течение ближайших 5 лет.

Рисунок 5. Серьезно поврежденная дуплексная нержавеющая сталь с футеровкой на основе эпоксивинилэфирной смолы и стеклянных хлопьев. Образец любезно предоставлен Blome International



ПРИМЕРЫ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

С начала 1970-х годов можно найти множество примеров использования стеклопластика в процессах мокрой очистки газов (создание поглотительных башен и резервуаров, трубопроводов для транспортировки пульпы, футеровки и т.д.). Наиболее яркие примеры – трубопроводы для известняковой пульпы (рисунок 6), за которыми следуют футеровки дымоходов. Стеклопластиковые трубы, изготовленные на основе эпоксивинилэфирной смолы с абразивно стойким слоем успешно применялись более чем на 150 заводах начиная с 1977 года. Активное использование стеклопластика обусловлено высокой стоимостью и недоступностью специальных видов стали, относительно стабильными ценами на стеклопластик и его доказанной надежностью в условиях работы с коррозионноопасными средами.

[1] B. Tossey, “Corrosion in wet Flue Gas Desulfurization Absorbers.” *Power Engineering,* January 2011, p. 20

Рисунок 6. Трубопровод для транспортировки известняковой пульпы в системе очистки газов на электростанции на Востоке США



Использование стеклопластика для создания футеровки в системах влажной очистки газов берет свое начало в 1979 году. Большинство стеклопластиковых футеровок до сих пор активно используется (Таблица 3). По сранению со всеми конструкционным материалами, используемыми с коррозионноопасными средами, к стеклопластику предъявляются особые требования по дизайну и производству, что обеспечивает успех применения этого материала. Перечислим эти требования:

- Тщательный выбор смолы и разработка коррозионностойкого барьера для обеспечения максимальной коррозионной стойкости при условиях работы со средой, характерной для процесса газоочистки;
- Тщательная разработка, проводимая опытными и квалифицированными инженерами;
- Правильное изготовление и установка, осуществляемые квалифицированным опытном персоналом;
- Тщательные осмотры и периодические ремонты, проводимые квалифицированными специалистами.

Таблица 3. Стеклопластиковые футеровки в системах очистки газов, установленные в период с 1979 по 1986. Эксплуатируются до сих пор

Место / Футеровка	Год создания	Состояние в данный момент
Coronado 1	1979	Минимальные ремонты
Winyah 3	1980	Минимальные ремонты
Coronado 2	1980	Минимальные ремонты
Winyah 4	1981	Минимальные ремонты
Laramie R. 3	1982	Небольшие ремонты
Holcomb 1	1983	Минимальные ремонты
Cross 2	1983	Великолепеное состояние
North Valme 2	1985	Нет ремонтов
Intermountain 1	1986	Минимальные ремонты
Intermountain 1	1986	Минимальные ремонты

Некоторые футеровки, установленные начиная с 1994 года, показаны на Рисунках 7 и 8. Они расположены в Нью-Йорке и Германии соответственно.

Рисунок 7. Футерованные дымоходы на электростанции Милликен на Западе Нью-Йорка с 1994 года

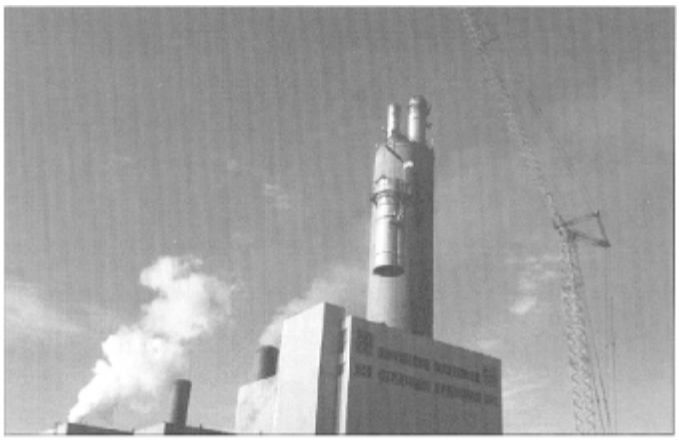


Рисунок 8. Две футерованные стеклопластиком трубы, установленных в Ингольштадте, Германия, в эксплуатации с 1994 года



Использование стеклопластика на электростанциях Северной Америки значительно возросло в 2006 году. В тот год было заложено 63 стеклопластиковых футерованных трубы на 49 электростанциях. Благодаря использованию более чем 3 миллионов кв. метров ламината, эти события стали крупнейшими в историии создания футеровок. Ни рисунке 9 показана установка двух футеровок дымоходов на востоке США.

Рисунок 9. Установка футеровок дымоходов на электростанции, расположенной на Восточном побережье



Кроме быстрого роста доли стеклопластика при создании футеровок для процессов влажной газоочистки следует также отметить значительное увеличение потребления стеклопластика с целью изготовления трубопроводов, предназначенных для траспортировки очищенных дымовых газов. Исторически трубопроводы на электростанциях стали успешно применяться, начиная с 1970-х гг. На рисунке 10 показан стеклопластиковый трубопровод, изготовленный на основе бромированной эпоксивинилэфирной смолы, установленный на электростанции мощностью 600 МВт. Бромированные смолы используются для создания труб в тех случаях, когда имеются особые требования по пожаростойкости.

Рисунок 10. Скруббер и трубопровод на электростанции мощностью 600 МВт



Производство стеклопластиковых абсорберов и их внутренних компонентов начало быстро расти в 2006 году. Наиболее известные стеклопластиковые абсорберы – пузырьковые реакторы. Использование такого реактора – часть процесса очистки известняковой пульпы, причем все химические реакции происходят в одной емкости, в результате чего получается высококачественный гипс. Один из самых больших стеклопластиковых скрубберов был недавно установлен на электростанции мощностью 950 МВт на юге США. На рисунке 11 изображен большой пузырьковый реактор, диаметр которого составляет 120 футов, а высота – 60 футов. Сейчас такой пузырьковый реактор удаляет до 99% SO_2, содержащегося в высокосернистом газе.

Рисунок 11. Скруббер и трубопровод на электростанции мощностью 950 МВт



Другая активно развивающаяся область применения стеклопластика на электростанциях – постройка охладительных башен. Хотя в течение долгого времени для создания таких сооружений использовалось исключительно дерево, в настоящее время чаще всего выбор падает именно на стеклопластик. Первопричина заключается в том, что, как ожидается, стеклопластиковая структура будет служить гораздо дольше, чем деревянная (более 50 лет по сравнению с 25 годами, характерными для дерева). Стеклопластик требует проведения гораздо меньшего числа текущих ремонтов по сравнению с деревом, он не подвержен разложению и гниению, выдерживает воздействие крайне агрессивных химических сред (при условии правильного выбора смолы и метода производства). Изготавливаемые стеклопластиковые элементы могут иметь длину до 18 метров и больше, благодаря чему затраты на рабочую силу снижаются в несколько раз по сравнению с тем, какие средства были бы необходимы для сращивания 6-метровых отрезков. На рисунке 12 изображены две стеклопластиковых башни, состоящие из 6 ячеек, установленные на электростанции мощностью 700 МВт на Среднем Западе.

Рисунок 12. Стеклопластиковые охладительные башни, установленные на электростанции мощностью 700 МВт на Среднем Западе



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При условии правильной разработки, изготовления и необходимого обслуживания стеклопластик, изготовленный на основе эпоксивинилэфирной смолы, является идеальным конструкционным материалом для создания трубопроводов, предназначенных для транспортировки известняковой пульпы, а также футеровки дымоходов, абсорберов и труб.

Стеклопластик обеспечивает системам очистки газов следующие преимущества:

- Более 30 лет доказанной работы;
- Гораздо более низкая цена по сравнению с нержавеющей сталью и сплавами с высоким содержанием никеля;
- Требуется значительно меньше обслуживания и ремонтов по сравнению с другими конструкционными материалами

ЗАМЕЧАНИЕ

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, Ashland