



Америка перестраивается – не без помощи композитов

Tom Dobbins, Reinforced Plastics

Жители Северной Америки и стран Карибского бассейна до сих пор ощущают последствия одного из самых разрушительных по своей силе ураганных сезонов в истории. Восстановление инфраструктуры – весьма дорогостоящий процесс, который, по оценкам экспертов, может затянуться на долгие годы. В условиях ограниченности в средствах правительство делает упор на инновационные материалы, применение которых в долгосрочной перспективе будет дешевле, чем традиционных. Ведь до сих пор большинство мостов, опор ЛЭП, труб и емкостей изготавливаются из дерева, бетона и металла.

Данные последнего ураганного сезона просто ошеломляют. Во время урагана Ирма 13 миллионов человек остались без электричества. Спустя неделю 6,3 миллионов человек в 5 штатах все еще жили без постоянного электроснабжения, а более половины Пуэрто-Рико оставались без света в течение 7 недель после урагана Мария. В соответствии с отчетом **Moody's Analytics** совокупная стоимость имущества, поврежденного во время ураганов Харви и Ирма, достигала 150-200 млрд. долларов. Внедрение инноваций – уже не роскошь, а необходимость, позволяющая создать надежную инфраструктуру. Нужно перестать полагаться на технологии 19 века и начать уже строить по уму.

Хотя, конечно, ураганы и прочие природные бедствия подчеркивают необходимость использования инновационных материалов, две гораздо более распространенные проблемы – структурное разрушение и коррозия – также стоят на пути к созданию надежной инфраструктуры. Стеклопластик пока что не является основным материалом, используемым в гражданском строительстве, однако существует немало примеров, наглядно демонстрирующих, как композиты могут служить целям создания надежных конструкций.

Опоры ЛЭП

Большинство эксплуатируемых сейчас опор ЛЭП – деревянные, изготовлены по технологии 19 века, весьма чувствительные к погодным воздействиям. Даже без учета разрушительного воздействия погодных условий коммунальные предприятия и телекоммуникационные компании каждый год тратят миллионы долларов для замены деревянных опор, поврежденных дятлами,

муравьями и термитами. Согласно отчету 2009 (см. таблицу ниже) Департамента энергетики США во время урагана Катрина было разрушено более 70 000 опор.

Эти данные вызывают весьма интересный вопрос: почему коммунальные службы заменяют поврежденные деревянные столбы идентичными, которые ожидаемо упадут во время следующего урагана? Один ответ, согласно Галену Фехту, директору по техническому сервису и международным продажам RS Technologies, заключается в значительном разрыве между тем ожидаемым и реальным сроками службы деревянных опор. «Многие люди, работающие в коммунальных службах, скажут вам, что настоящее поколение деревянных опор служит около 25 лет, а отдельные персоны из руководства и вовсе будут утверждать, что деревянная опора может простоять 60 лет» говорит Фехт. Согласно исследованию, проведенному в 2008 г. Стэнфордским Университетом, приемлемый срок службы деревянной опоры – 30 лет. Композитные опоры при этом должны служить в 2, а то и 3 раза дольше.

Еще один путь повышения надежности электрической сети – улучшение строительных стандартов, а именно учет климатических условий (например, скорости ветра) в данном регионе. По словам Фехта, Национальный кодекс электробезопасности является превалирующим при создании воздушных линий. Кодекс включает в себя так называемое «Правило исключения 60 футов», которое освобождает структуры высотой менее 60 футов (18,3 м) от действия Правила 250С «Экстремальная ветровая нагрузка» и Правила 250D «Экстремальная ледяная нагрузка с одновременным ветром». В областях ураганной активности несоблюдение Правила 250С может иметь разрушительные последствия для электросети.

Объект инфраструктуры	2005			2008	
	Катрина	Рита	Вилма	Густав	Айк
Разрушено опор ЛЭП	72 447	14 817	около 14 000	11 478	10 300
Повреждено трансформаторов	8 281	3 580	неизвестно	4 349	2 900
Повреждено трансмиттеров	1 515	3 550	неизвестно	241	238
Отключено подстанций	300	508	241	368	383

Рисунок 1 – Масштабы повреждений электросети США во время ураганов 2005 и 2008

В течение последнего сезона ураганов, Фехт стал свидетелем недостатков существующих опор, в районах, разрушенных ураганами Ирма и Мария. Как объясняет Фехт, коммунальные службы не хотели восстанавливать то, что потенциально снова разрушиться, поэтому они выбрали композитные опоры RS Technologies.

Перед тем, как отправить первую партию опор, для RS Technologies было важно понять данный случай с точки зрения уникальности нагрузки и провести его анализ для выбора оптимальных опор, которые могут противостоять сильным ветрам.

Они обычно использовали 65 футовые (19,8 м) деревянные опоры из южной желтой сосны второго класса. Если вычесть стандартную глубину погружения 10% от длины опоры плюс 2 фута, эти 65 метровые опоры будут иметь высоту около 56,5 футов (17,2м) над землей и, таким образом, согласно Кодексу, они будут попадать под действие правила 250B, 9 фунтов/кв. фут метра или

примерно 58 миль/час, и освободиться от правила 250С, согласно которому экстремальная скорость ветра в данном регионе составляет 145 миль/час (233,4 км/час).

Когда специалисты RS Technologies завершили этот анализ, они обнаружили, что при скорости ветра 58 миль/час, 65 футовая деревянная опора 2го класса была использована почти на 200%. «Мы подумали – так не может быть, так совсем не может быть» - говорит Фехт (рисунок 2).



Рисунок 2 – Линия деревянных опор, построенная в 2009 году, была повреждена многочисленными ураганами. Наибольший ущерб нанес ураган Мэтью, который повалил около 2700 опор

Однако Фехт не хочет, чтобы люди обвиняли коммунальные службы в плохой работе деревянных опор. Наоборот, он уверен, что исследование иллюстрирует масштаб проблемы, связанный с устареванием проектного кодекса. Если предположить, что электрическая сеть должна выдерживать воздействие урагана, то каждый элемент должен разрабатываться с учетом экстремального ветра, а не только те, которые превышают высоту 60 футов. «Такой опыт типичен для большинства коммунальных служб, с которыми мы работаем и которые разработали свои линии согласно Кодексу! Говорит Фехт. «В большинстве случаев инженеринговые стандарты, по которым производятся опоры, были разработаны много лет назад и на сегодняшний день не актуальны. Кроме того, в них не рассматривается скорость ветра 200 миль/час».

После переговоров с коммунальной службой специалисты RS Technologies решили проверить опоры с экстремальной скоростью ветра 200 миль/час – именно такая максимальная скорость была зафиксирована в этом регионе во время урагана.

«Речь идет об очень ответственной инженерной линии» говорит Фехт. «Если в регионе наблюдается ураган 5 категории с постоянной скоростью, превышающей 156 миль/час, то деревянная опора не просто упадет, а вызовет эффект домино, приведя тем самым к разрушению множества пролетов».

Композитные опоры, таких как производят RS, имеют достаточный запас прочности, чтобы поглотить энергию деформации и остановить каскадную поломку. «Некоторые коммунальные службы начали устанавливать наши опоры через каждые пять или шесть опор, или использовали

композитные опоры вместо поврежденных деревянных, чтобы минимизировать каскадную поломку», - говорит Фехт.

И хотя Фехт не ожидает, что переход на композитные опоры произойдет в одночасье, коммунальные службы могут начать стратегически заменять деревянные опоры на композитные, где первые не смогут обеспечить желаемый срок службы. Это такие места, где часты ураганы, районы, населенные дятлами и влажные области, где деревянные опоры могут раньше времени сгнить.

Еще одна область, которая сильно пострадала во время урагана Ирма – Флорида Ки. До урагана CompSites International (CSI) работали над использованием микроэлементов для расширения сотовой связи сеть для AT&T в штате Флорида. CSI имеет длинный и успешный послужной список работы с Verizon, AT&T, T-Mobile и другими теле коммунальными компаниями в обеспечении небольших опор для вышек сотовой связи, комплексные проектов и работ «под ключ». Уилл Джейкобс, президент и главный исполнительный директор CSI, является 20-летним ветераном беспроводной телекоммуникационной индустрии. Его отношения с AT&T, наряду с демонстрацией продукции, были решающими факторами в выборе опор, используемых для этого проекта. CSI работали с Creative Pultrusions, Inc. (CPI) по установке 30 восьмиугольных пултрузионных опор. По словам Дастина Траутмана, директора по маркетингу и разработка продукта в CPI, 43 футовые опоры были сделаны из высокопрочной, экологически безопасной винил эфирной смолы. Опоры были обмерены и испытаны при скорости ветра 150 миль/час и давлении примерно 60 PSF. Для защиты опор от УФ-излучения применялось специальное покрытие, соответствующее требованиям Американской ассоциации производителей архитектурных изделий AAMA 623. После урагана, специалисты CSI посетили каждую установленную опору – они все стояли.

«Я не удивился, услышав, что все наши опоры выстояли во время урагана» говорит Траутман. «Прочность стеклопластиковых опор – величина предсказуемая, кроме того, у нас есть инструменты для разработки стеклопластиковых структур, которые, я уверен, выдержат испытание временем».

Мосты

Многие современные мосты выполнены из железобетона. Однако, когда сталь корродирует, эксплуатанты мостов сталкиваются с проблемой долговечности такой конструкции, ведь разрушение металла приводит к структурным разрушениям и дорогостоящему ремонту. Первое коммерческое строительство с использованием стеклопластика началось почти тридцать лет назад, но только теперь начинает развиваться (см. рисунок 3).

«Решением проблемы деградации инфраструктуры не может просто улучшение свойств бетона для лучшей защиты стали. В некоторых случаях есть смысл заменить сталь каким-то не корродирующим материалом», - говорит д-р Антонио Нанни, профессор кафедры гражданского, архитектурного и экологического инжиниринга в Университете Майами.

Нанни является одним из главных идеологов использования композитов в инфраструктуре, реализована со своими студентами несколько успешных проектов за последние несколько лет, в том числе с MoS Construction Management – по замене стальной арматуры на стеклопластиковую при строительстве «Моста судьбы» на территории кампуса в попытке бороться с будущими

проблемами коррозии. Он и его ученики разработали и построили «Мост Инноваций» в университете Корал-Гейблс, штат Флорида. Мост, по словам Нанни, не содержит ни одного фунта черной стали.

Последний проект Нанни, 186-футовый мост Холл Ривер в Гомосасса, штат Флорида, после завершения строительства, скорее всего, будет иметь больше композитных элементов, чем любой автомобильный мост в США.

По словам Нанни, в то время как город Гомосасса должен был быть эвакуирован во время урагана Ирма, на мосту «не было абсолютно никаких повреждений структуры или оборудования»



Рисунок 3 – Министерство транспорта Онтарио выбрало фибробетон для моста через реку Нипигон – 480 панелей, предотвращающих коррозию и обеспечивающих надежность и долговечность

Проект замены мостов стартовал, когда инженеры Департамента транспорта Флориды (FDOT) выбрали мост Холлс-Ривер для демонстрации возможностей композитного мостостроения с использованием композитных балок Hillman от HCB Inc. Балки представляют собой, по сути, стеклопластиковые короба с металлической стяжкой в нижнем фланце, противостоящей натяжению от бетонной арки внутри короба. Внешняя стеклопластиковая оболочка отвечает за прочность на сдвиг, бетонная арка обеспечивает прочность на сжатие, а стальная арматура, проходящая в продольном направлении, ответственна за свойства растяжения.

Департамент транспорта Флориды предпочел использовать композиты для этого проекта в первую очередь из-за высоких издержек на ремонт мостов из традиционного железобетона в условиях морской воды и болотистых земель.

Каждый из пяти пролетов моста строился с использованием девяти 36-футовых балок, изготовленных Kenway Composites в Августе, штат Мэн. Специалисты использовали гибридные композитные балки, состоявшие из стальной нити, бетонной арки и стеклопластиковой оболочки. Последняя обеспечивает прочность на сдвиг, содержит в себе элементы натяжения и сжатия, защищает балки от влаги, соленой воды и брызг.

«Это отличная возможность продемонстрировать использование композитов для внутреннего армирования, как с предварительным напряжением, так и без него» говорит Нанни.

Мост рассчитан на 75-летний срок службы, но, по словам Нанни говорит, он прослужит намного дольше.

Мост через реку Нипигон, в Онтарио, Канада, доказал, что композиты могут быть вполне жизнеспособной альтернативой стали. В 2013 году Министерство Транспорта Онтарио (МТО) начало реализацию проекта замены существующего моста на два параллельных 4-х полосных пролета. Стоимость проект - 106 миллионов долларов. В результате появился первый вантовый мост с покрытием из сочетания стеклопластика и армированного бетона. Стеклопластик был изготовлен из винил эфирной смолы Е стекла, не содержащего бор/

По словам Брахима Бенмокрane, профессора гражданского строительства из Университета Шербрука, использование сочетания стеклопластика и армированного бетона для 252 метрового моста стало как инновацией, так и насущной необходимостью. Мост – единственный способ проехать на машине из восточной Канады в западную. Если закрыть его на ремонт, то водителям пришлось бы делать большой крюк по территории США. Поэтому инженеры выбрали вариант вантовой конструкции. Конечно, такие мосты гораздо сложнее проектировать, ведь нужно учитывать силы сжатия, достигающие 900 psi. Именно наличие таких сил делает ремонт покрытия моста в случае разрушения бетона практически не возможным. Так что специалисты обратились к стеклопластику, который зарекомендовал себя как весьма надежный материал, не требующий ремонта в течение более чем 100 лет.

Профессор Бенмокрane уверен, что такой мост – это важная веха развития композитной промышленности и он надеется на дальнейшее распространение этого опыта на всю инфраструктуру. В 2017 он сделал презентацию на Международной конференции по Мостам, рассказав, что бетонные мосты, армированные с помощью стеклопластиковой арматуры, имеют себестоимость практически равную мостам из бетона, армированного с помощью металлической арматуры с эпоксидным или цинковым покрытием. Он также добавил, что арматура из нержавеющей стали может быть в 2-4 раза дороже стеклопластиковой.

В другой части Канады – Британской Колумбии, композиты сыграли важную роль в ремонте разрушенного автомобильного моста с пешеходной зоной в городе Трейл. Городу требовался недорогой, но при этом прочный пешеходный мост, не требующий обслуживания. Выбор пал на панели **Composite Advantage** – достаточно легкие, чтобы построить уникальный подвесной мост, но при этом достаточно прочные и надежные. Такой мост не требует практически никакого обслуживания и прослужит, по прогнозам, 75 лет.