

*Аверченко Глеб Александрович*

аспирант

*Квятко Александр Владимирович*

канд. техн. наук, заведующий кафедрой

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет»

г. Санкт-Петербург

## **РАЗВИТИЕ КОМПОЗИТОВ В МОСТОСТРОЕНИИ**

*Аннотация: в работе представлено заключение по дальнейшему использованию эксплуатируемых и строительству новых мостов из железобетонных и металлических конструкций. Раскрыты основные проблемы использования металлических ортотропных плит. Сформулирована общая идея по использованию композитных материалов в мостостроении.*

*Ключевые слова:* волоконно-армированный полимерный композит, композит, композиционные материалы, строительство Керченского моста, ортотропная плита, волоконно-армированный пластик, новые материалы.

Повсеместно железобетонные и металлические мосты приходят в негодность от коррозии. Однако возможно встретить все еще эксплуатируемые мосты в неудовлетворительном и аварийном состоянии, но которые еще не вышли из срока эксплуатации. Такие автодорожные мосты разрушается намного быстрее, если условия окружающей среды являются тяжелыми. Влияние погодных условий на сооружения огромно, вместе с этим влияет еще и ненормативная временная нагрузка. Влага проникает даже в защищенные конструктивные узлы сооружения, которая вымывает или разрушает связанный материал.

Зачастую применение дорогостоящих материалов не позволяет уменьшить стоимость эксплуатации мостов, вместе с тем применение нестандартных решений в конкретных условиях в проектировании и строительстве автодорожных мостов позволяет избежать их.

Большие и внеклассовые автодорожные мосты часто возводятся из металлоконструкций. Плиту покрытия (плиту проезжей части) зачастую в последние десятилетия мостостроители стали использовать из металлических ортотропных плит. Их использование позволило уменьшить стоимость строительства за счет упрощения монтажа конструктивных элементов моста, их доставки на объект строительства, увеличения длины пролетов, вследствие чего стало возможным уменьшить количество промежуточных опор.

Первая стальная ортотропная плита была разработана немецкими инженерами в 1930-х годах и построена в 1936 году. Стальная ортотропная плита состоит из небольших (тонких) пластин и элементарных прокатных элементов, сваренные (закрепленные) между собой стальным листом. В общем виде конструкция выглядит как плита с продольными и поперечными, иногда и с ортогональными «выступами» из того же материала, которые образуют, так называемые, связи и ребра. Такое упорядоченное построение элементов образует жесткую рамную конструкцию которая может нести разнонаправленные нагрузки.

Со временем успешного использования ортотропной плиты в различных конструкциях, было создано множество типовых решений, применяемых и по настоящее время по всему миру. Использование данной технологии дало возможность с уменьшенными сроками строительства, возводить внеклассные мосты с увеличенными сроками службы с невероятными для человеческого инженерного восприятия размерами.

Следующим под этапом явилось сооружение блочных (сборных) конструкций из ортотропных плит. Данный метод позволил изготавливать блочные конструкции до начала строительства, что стало определяющим фактором его экономической целесообразности.

Единая конструкция ортотропной плиты позволила улучшить покрытие моста неразрезной системой, что влияет на более гладкую и менее шумную езду проезжающих по ней транспортных средств и дает наибольшую, по сравнению с другими типами мостов, защиту несущих конструкций от осадков и противогололедных средств.

---

Такое конструктивное решение может применяться в сейсмоопасных районах где возможно снижение сил инерции за счет всей конструкции моста. Применение ортотропных плит из-за своих улучшенных характеристик: легкости и надежности, применяют в разводных мостах.

Повышенная стоимость стальных конструкций по сравнению с железобетонными, металлические мосты нашли большее применение в мостах с перекрытием средних и больших пролетах в подвесных, вантовых и арочных мостах. Так же данные типы мостов имеют огромный потенциал в их использовании при сжатых сроках строительства. Повсеместно в мире для замены большинства устаревших железобетонных мостов были использованы именно вантовые мосты с ортотропной плитой проезжей части.

Ортотропная плита с ее изобретением явилаась большим предметом изучения, потому как она позволила в мостостроении в несколько раз увеличить длину пролетов и уменьшить их стоимость, ускорить темпы строительства.

В большинстве самые знаменитые в мире мосты были возведены именно с металлическими ортотропными плитами, например, в США: мост Золотые Ворота, Бруклинский мост, Такомский, Трайборо, Вильямсбургский, Royal Gorge, Coronado, Джорджа Вашингтона и другие. В России: Живописный мост, мост на остров Русский и другие. Мост Тысячелетия, Васко да Гама, Alamillo, виадук Мийо (Европа), Rainbow bridge, Акасе-Кайке в Японии. В Китае мост Сутонг, Камнерезов, Чжэцзян, Nanpu, Цинь Ма, Бейпанджанг, Hangzhou Bay и другие.

С совершенствованием ортотропной плиты, уменьшением ее толщины для экономии использования металла при строительстве, увеличивается вероятность образования усталостных трещин в самой конструкции, выявление дефектов еще при изготовлении элементов. Все это стало предметом изучения дальнейшего уточненного совершенствования металлических ортотропных плит.

На практике эксплуатации ортотропных плит выявляются так же и недостатки. Требуется регулярный осмотр и техническое обслуживание таких мостов. Старение металла и его коррозия может привести к резкому ухудшению

требуемых и запроектированных характеристик мостового перехода, что может привести к необратимой катастрофе и жертвам.

С целью увеличения срока эксплуатации применяют специальные защитные материалы. Применение этих материалов для металлоконструкций мостов зависит от условий работы конструкции и условий окружающей среды. Обычно применяют мастики, битумы, асфальтные смеси, наплавляемую гидроизоляцию, смолы, краски. Практика показывает, что применение защитных материалов ограничено сроком не более 30 лет при регулярном техническом обслуживании. Для увеличения характеристик конструкционных материалов в последнее время используют полимерные материалы.

Многие века для строительства транспортных сооружений использовались древесина, камень, железо как конструкционные материалы. Но за последние десятилетия открытия, связанные с физикой и химией веществ, переворачивают наши представления о мире. Появляются материалы искусственного происхождения с задаваемыми свойствами веществ. Это было связано с появлением «пластика».

Каждый конструкционный материал, используемый для строительства мостовых переходов, уникален по своим качествам. В различных условиях требуется применение различных материалов, но с появлением и внедрением пластиков в строительство, появляется возможность использования уникального материала, свойства которого не будут уступать всем материалам применяемых ранее в комплексе. Использование свойств нескольких материалов в одном теле называют композиционным. Объединение волокна и пластика в одном композиционном материале обозначают как «FRP Composites» – Fibre-Reinforced Polymer Composites (волоконно-армированный полимерный композит). Многие из них используются в производстве, которые возможно использовать и в строительстве мостов.

Предпочтительно матрицу применяют из пластика с наилучшей адгезией к армирующему веществу. Обычно это термореактивные смолы, эпоксидные или полиамидные. Пластмассы, армированные волокнами, применяются в качестве

решений по ремонту, усилению большинства конструкций. Наиболее распространенные волокна, применяемые в композиционных материалах на основе пластика, используются стеклянные, углеродные и арамидные.

На данный момент пластики и композитные материалы (КМ) обширно применяются в виде добавок, покрытий и элементарных не несущих конструкциях в строительстве, что улучшает качества используемых материалов, и увеличивает разнообразие возможных конструкторских решений.

Преимущество волоконно-армированных пластиков является легкий вес при достаточно высокой прочности, что делает композиционные материалы перспективным для строительства и усиления существующих железобетонных мостовых конструкций. Многие композиты, например, стеклопластик возможно наклеивать как обои на конструктивные элементы моста, для обеспечения дополнительного армирования, что влияет на сейсмостойкость, долговечность и коррозионную стойкость. Основной способ производства этих материалов заключается в фиксировании высокопрочных волокон или спиралей в однородную ткань с дальнейшим погружением (нанесением) в эпоксидную матрицу которая при затвердении заклинивает нити ткани, придавая крепость материалу. Такой метод усиления широко используется в практике. При этом обычно применяют стеклянные или углеродные волокна.

Оценивая приобретенный опыт использования композитных материалов, приводит к следующему, что замена многих железобетонных, металлических конструктивных элементов возможна, а именно тех, которые влияют на несущую способность мостов. Одной из подобных применений КМ может стать замена металлической ортотропной плиты на композитную на основе пластика.

Ортотропная плита из композитных материалов может взять все преимущества конструкций металлических плит, и за счет «задаваемости» свойств композитов устраниТЬ их недостатки. Пролеты мостов с ортотропными плитами из композиционных материалов могут стать больше, крепче, надежней и легче. Объединение параметров взаимной работы плиты и несущих элементов пролета,

позволит сократить стоимость строительства, сроки и даст возможность придавать необходимый эстетический вид конструкциям.

Использование данной ортотропной плиты сократит собственный вес пролетных строений, что позволит уменьшить подъемные механизмы и противовесы на разводных мостах. Следовательно, за счет свойств материала сократятся расходы на обработку и защиту конструкций краской, нанесению гидроизоляции, изоляции и антикоррозийных покрытий.

Перемещать некоторые конструкции из композитных материалов на основе пластика возможно вручную, ручным инструментом или средствами малой механизации. Легкость самих конструкций облегчит доставку на труднодоступные объекты строительства. Температурное расширение композиционного материала минимально, поэтому возможно полное или частичное исключение деформационных швов.

Строительство подобных мостов сократит стоимость эксплуатации. Следовательно, применение композитов экономически выгодно, особенно в мостах с большими пролетами где требуется простота обслуживания или его отсутствие.

Ортотропные плиты из композиционных материалов могут использоваться уже при строительстве Керченского моста. Где спроектированную расчетную длину пролета в 227м возможно будет увеличить, а количество опор сократить, следовательно, уменьшится и стоимость всего строительства. Элементы ортотропной плиты будут, скорее всего, типовыми на всем протяжении моста, что скажется и на стоимости производства ортотропных плит из композиционных материалов. При применении данного материала многие композитные элементы пролета при строительстве, возможно, сплавлять или буксировать по воде.

Частичная или полная замена некоторых элементов, а иногда и возведение мостов из КМ активно входит в мировую практику. Например, в США первый композитный автодорожный мост на дороге общего пользования был установлен в ноябре 1996 в штате Канзас. При строительстве использовались облегченные краны и заводского изготовления секции моста. Полный монтаж всех

элементов длился примерно 10 часов. При строительстве и производстве был использован волоконно-армированный пластик.

В другом проекте, в Нью-Йорке произвели замену у 25-футового бетонного моста построенного в 1926 году плиты проезжей части (плиты покрытия) на плиту из композитных материалов. Плиту изготовили из стекловолоконной ткани и винилоэфирных пластмасс с особой «сэндвич» структурой. Монтаж всей конструкции занял один день. В штате Огайо в США по подобной практике заменили плиты проезжей части на композитные у более чем у сотни мостов штата.

Практика строительства мостов из композитных материалов имеется уже у ряда стран, таких как Германия, США, Великобритания, Китай и не исключение тому Россия. В Новосибирской области через реку Пащенка в селе Сосновка возведен мост из КМ у которого главные балки пролетного строения выполнены из слоистого стеклопластика.

Первый в России автодорожный мост из композитных материалов был спроектирован в октябре 2003 года и установлен в микрорайоне Чертаново на юго-востоке г. Москвы. Пролётные строения выполнены из ферм с ездой по верхнему поясу и установлены через железнодорожные пути, расположенные в выемке земляного полотна. Ширина моста 3 м, вес 19 тонн. Сооружение моста было завершено в ноябре 2004 года. Время монтажа каждого пролета заняло около 4 часов. Соединения композитных элементов в мосту осуществлялись накладками и крепежом из нержавеющей стали.

Пешеходный мост в Косино с цельнокомпозитными пролетными строениями разработан в 2004 году и расположен за пределами г. Москвы в восточном направлении. Ширина пролетных строений 5 м. Пролетное строение из ферм высотой 1,6 м с проходом по верхнему поясу.

В парке 50-Лет Октября в Москве над рекой возведен пешеходный композитный мост. В результате выполнения данного проекта была разработана продуктовая линейка необслуживаемых модульных композитных арочных мостов для зон отдыха, парков и малых рек с длиной пролёта от 15 м до 30 м и со сроком

службы по расчетам до 100 лет. Внедрение новой технологии вакуумной инфузии для серийного производства деталей позволяет снизить себестоимость.

Практика строительства мостов из композитных материалов в мире насчитывает более 360 мостовых переходов. По большей мере это пешеходные мосты. Один из первых в мире автодорожных мостов с применением КМ был построен в Великобритании в 2002г. с длиной пролета 10м и весом 37т.

Мосты из композитных материалов достаточно жесткие, чтобы выдержать вес танка «Шерман», как это было продемонстрировано в 2002 году в Англии. Его 11-метровый пролет выполнен из волоконно-армированного пластика. В последнее время увеличивается практика строительства мостов из композитных материалов. Волоконно-армированный композит был использован при строительстве в Лос-Анджелесе, штат Калифорния моста в сейсмоопасном регионе. Мост выполнен арочным, пролет которого составляет более 1300 футов. Железобетонные опоры были защищены стеклопластиком.

В канадской провинции Квебек был построен мост в Шербруке, который является инновационным. При его строительстве был использован композитный материал из углеродного волокна (углепластика). В несущих конструкциях были установлены волоконно-оптические датчики, вмонтированные в саму структуру волокна углепластика, которые предоставляют достоверную информацию (мониторинг) о статусе нагрузок на материал. Это позволяет изучать и предупреждать опасность критических напряжений конструкций.

При создании композитных элементов для строительства мостов руководствуются типовыми чертежами и расчетами для бетонных и стальных конструкций. В этом проявляется слабость и неизученность опыта строительства мостов из КМ. Многие мосты по данной технологии возведены лишь с частичным применением композиционных материалов. Однако использование данных материалов в других областях, например, машиностроении, кораблестроении и др., не испытывает проблем. Подобные материалы используются во многих сферах нашей жизни, но применение их в строительстве в качестве несущих элементов

конструкции не изведано теоретически и затруднено практически по причине недостатка регламентирующих документов.

Первые в России пешеходные мосты из стеклопластиковых материалов были спроектированы на основе существующих нормативных документов для стальных, железобетонных и деревянных мостов, а именно СНиП 2.05.03–84\* Мосты и трубы, СНиП 3.06.07–86 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний, МГСМ 5.02–99 Система нормативных документов в строительстве. Московские городские строительные нормы. Проектирование городских мостовых сооружений и технических условий на стеклопластики.

В 2005г. на основе расчётов Центрального научно-исследовательского института строительства (ОАО ЦНИИС, г. Москва), были разработаны Временные технические условия (ВТУ) «Конструкция пешеходных мостов из композиционных материалов» что являлось основным нормативным документом в Москве и Московской области для создания мостов и переходов из композитных материалов. На основе этих ВТУ были и спроектированы многие мосты с применением композиционных материалов.

На сегодняшний день не существует единого регламентирующего документа для строительства мостов из КМ. Однако возможно полагаться при проектировании и строительстве на стандарт «Межрегионального объединения дорожников «СОЮЗДОРСТРОЙ» «Автомобильные дороги. Сооружение пешеходных мостов из полимерных композитных материалов». Из этого следует, что необходима достаточно большая работа над этими вопросами на уровне мирового интереса к строительству мостов с применением композиционных материалов. Из-за недостатка нормативной базы для их строительства в большинстве случаев Заказчик не готов эксплуатировать и нести ответственность за применение таких конструкций.

Вместе с этим возникают все более новые комплексные вопросы по дальнейшему совершенствованию мостовых конструкций, снижению расхода материалов при строительстве мостов, совершенствование методов проектирования, упрощение процесса монтажа на основе новейших средств механизации.

В недалеком будущем, возможно, что строительство мостов будет таким же простым занятием, как и строительство беседки у себя на даче. Процесс проектирования станет достаточно эффективным. А создание единой расчетной программы сможет, исходя из потребностей заказчика, моделировать основной конструктив, добавляя эстетические параметры с возможностью тут же пускать это в работу (в изготовление) детали для будущего моста. Все это возможно и успешно применяется в других областях промышленности и производства. Так что мосты будущего возможно строить уже сегодня.

### ***Список литературы***

1. Радченко И.П. О некоторых проблемах эксплуатации мостов // Автомобильные дороги: Ипформ. сб. – Информавтодор, 2000. – Вып. 3. – С. 31–36.
2. Квитко А.В. Возможности применения композитных материалов при строительстве объектов транспортной инфраструктуры // Дорожная держава. – 2014. – №56.
3. Квитко А.В. Особенности применения композитов при строительстве объектов транспортной инфраструктуры // Дороги. Инновации в строительстве. – 2014. – №42.
4. Квитко А.В. Инновационные технологии по эффективной очистке элементов транспортной инфраструктуры // EurasiaScience. – 2015.
5. Добщиц Л.М. Морозостойкость бетонов транспортных сооружений и пути ее повышения. – М., 2000. – 385 с.
6. Дорфонд. Отчет о результатах контрольного мероприятия №3–05/2/12 дата 20.03.2013. – М., 2013. – 40 с.