

УДК 624.012.45-751

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСИЛЕНИИ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТОВ КЕМЕ- РОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Долгих П.А., студент гр. СПб-151, IV курс

Ардеев К.В., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В последнее время как на автомобильных, так и на железных дорогах, увеличиваются масса и интенсивность движения транспортных средств. Для обеспечения беспрепятственного и безопасного пропуска подвижного состава необходимо восстанавливать или даже увеличивать несущую способность искусственных сооружений. Общие затраты времени на усиление конструкций и реконструкцию зданий в 1,5 – 2 раза меньше, чем новое строительство, капитальные вложения существенно меньше, а окупаемость в 2 – 2,5 раза быстрее, чем при новом строительстве [1].

Устройство системы внешнего армирования – один из распространенных методов повышения несущей способности балочных пролётных строений железобетонных мостовых конструкций. Длительное время система усиления внешним армированием выполнялись путём приварки к нижней рабочей арматуре, через коротыши, стальных профилей, либо путем приклеивания на подготовленную нижнюю поверхность ребра балок стальных полос и профилей посредством эпоксидных смол ЭД-20 и ЭД-22. Оба метода представлены в Альбоме № 1 технических решений по усилению железобетонных автодорожных мостов, который был утвержден администрация Кемеровской области в 1993 г. [2].

Внешнее армирование стальными пластинами увеличивает несущую способность балочных конструкций, их жесткость и трещиностойкость.

Вариант усиления при помощи сварки более трудоёмок, требует оголения рабочей арматуры, а процесс приваривания к ней элементов усиления чреват снижением прочности арматурного стержня.

Технология усиления несущих конструкций путём закрепления на их растянутых поверхностях железобетона стальных элементов эпоксидным клеем была разработана в 1960-х годах французским инженером Лермитом (L'Hermite), под чьим именем и распространена в Европе [3].

Технология усиления внешним армированием, даже при ее эффективности уже на уровне конструирования, сталкивалась с рядом проблем при эксплуатации, включая долговечность:

- из-за значительной массы металлических элементов усиления при их устройстве требовалось производить много вспомогательной работы, в том числе создание временных поддерживающих приспособлений, необходимых в процессе полимеризации смолы, что может быть особо сложно для мостовых сооружений из за особенностей их расположения;
- возникающая со временем коррозия стали элементов усиления требовала дополнительных расходов на содержание усиленных конструкций, что также особо актуально для мостовых сооружений.

В 90-х все эти проблемы легко решились с революционным развитием волоконных технологий, благодаря предложению швейцарского профессора Майера использовать вместо стальных пластин фиброармированные полимеры. Эти материалы легкие по весу, эластичные, обладают исключительными механическими характеристиками, отличной износостойкостью.

Это были усиленные углеродными волокнами полимеры, или  
CFRP = Carbon Fiber Reinforced Polymer.

Их совокупность в строительстве называется:

ФАС = фиброармированные системы.

Замена традиционной техники плакировки стальными пластинами на усиление несущих конструкций системами на основе композитных материалов позволила [1, 3]:

- Ускорить работы по ремонту и техобслуживанию и снизить их стоимость;
- повысить несущую способность конструкции, в том числе в сейсмически неблагоприятных условиях;
- уменьшить деформации от эксплуатационных нагрузок (повышение прочности);
- увеличить долговечность конструктивных элементов;
- ограничить распространение и/или заделать участки трещинообразования.

К достоинствам системы усиления выполненного путем приклеивания на эпоксидный состав современных композитных материалов относится:

- Высокая устойчивость конструкции усиления практически к любым агрессивным средам;
- гораздо более высокая прочность на растяжение (углеволокна), чем применяемая арматурная сталь ( $R=2300-4900$  МПа);
- водонепроницаемость;
- при монтаже не повреждается бетон и арматура существующей конструкции;
- материал легко поддается преднапряжению;
- малая толщина материала позволяет производить усиление в несколько слоёв, под разными углами, не снижает существующие габариты сооружений;
- монтаж конструкций не требует высокой квалификации рабочих;
- низкий вес конструкций усиления.

Недостатками такой системы усиления можно назвать:

- Относительно высокая стоимость клеевых составов;
- необходимо четкое соблюдение технологии выполнения работ на всех стадиях усиления;
- отсутствие пластических свойств у композитных материалов – разрушение имеет хрупкий характер;
- низкая сопротивляемость высоким температурам.

Физико-механические свойства некоторых композитных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Материал волокна	Модуль упругости, $E$ , ГПа	Прочность при растяжении, $R_t$ , МПа	Предельное удлинение, $\delta$ , %	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Углерод (ВП)	200-250	3400-3900	1,5-2,5	1750-1950
Углерод (ВМ)	300-700	2900-4000	0,45-1,2	1750-1950
Арамид (ВП)	75	3500	4,6	1400
Арамид (ВМ)	110	2900	1,5-2,4	1400
Стекло (тип Е) <sup>1</sup>	72-77	3400-3700	3,3-4,8	2600
Стекло (тип С) <sup>2</sup>	75-88	4300-4900	4,2-5,4	2500
Стекло (тип А) <sup>3</sup>	21-74	3000-3500	2,0-4,3	2700

Примечания к таблице: ВМ – высокомодульный, ВП – высокопрочный; 1- универсальное; 2 – высокопрочное; 3 – щелочестойкое.

На основе композиционных материалов изготавливают четыре основных вида изделий: ленты (ламинаты, ламели), ткани (холсты); арматуру; дискретное волокно, служащую наполнителем для фибробета.

Внедрение технологии усиления пролётных строений мостовых сооружений внешним армированием из композитных материалов начало активно развиваться в России с 2001 года, как в автодорожной так и в железнодорожной сфере.

Первым мостовым сооружением на дорогах общего пользования Кемеровской области, где применена данная система был мост через реку Большая Промышлёнка на автомобильной дороге «Кемерово-Елыкаево-Старочервово», км 24+700 в 2011 году. Было произведено усиление тавровых балок пролётногo строения пролётom 11,56 м. Усиление нормального сечения выполнено ламелями MBRACE LAM CF165/3000.1,4.100m и усиление наклонных сечений в приопорных зонах холстами MBRACE FIB CF230/4900.300g/5.100m. Общая схема усиления приведена на рис. 1. Данное решение является практически общепринятым вариантом усиления.

Перед нанесением системы внешнего армирования необходимо произвести подготовку бетонного основания балок пролетного строения путем очистки бетона углошлифовальной машинкой с фрезой с последующей зачисткой металлическими щетками. Обрабатывается подвергнуть только поверхностный слой бетона до обнажения крупного заполнителя. Площадь под-

готовки поверхности должна соответствовать площади нанесения системы внешнего армирования. Затем наносится праймер, для обеспечения сцепления последующего слоя шпатлёвки с бетоном. Шпатлёвка выравнивает поверхность и тем самым обеспечивает плотное соприкосновение материала усиления с усиливаемой конструкцией. Шпатлёвка применяется, как правило, на основе безусадочных и прочных полимербетонов.

В результате усиления возможно повышение несущей способности:

- при наклейке материала на нижнюю грань балки возможно – в 1,4-1,8 раза
- при наклейке материала в виде U-образной обоймы - в 2,4-2,8 раза
- при наклейке хомутов из материала в оппорной зоне - в 1,4 раза.

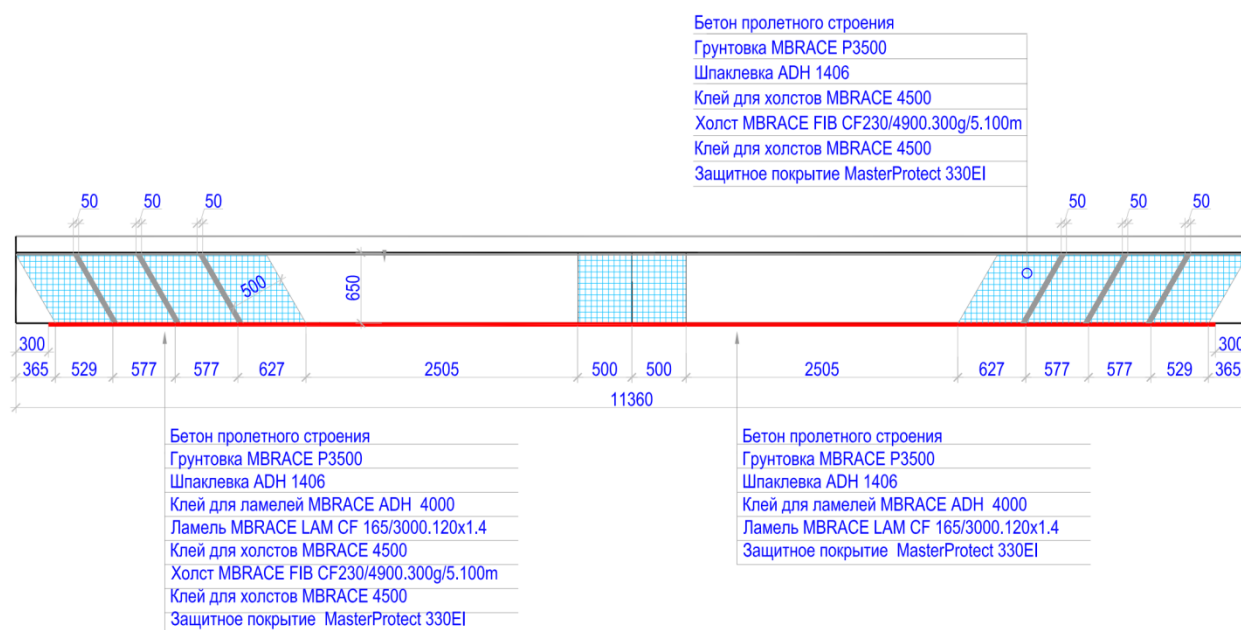


Рис. 1 Стандартная схема усиления балки пролётного строения

В дальнейшем, при участии специалистов КузГТУ разработаны аналогичные проекты усиления на ряде автомобильных мостовых сооружений области, в том числе:

- мост через реку Антибес на автомобильной дороге «Томск – Мариинск» км 197+067;
- мост через р. Южная Уньга на автомобильной дороге «Панфилово – Крапивино», км 1+127;
- мост через р. Берёзовка на автомобильной дороге «Новосибирск - Ленинск-Кузнецкий - Кемерово – Юрга», км 319+618;
- мост через р. Писаная на автомобильной дороге «Кемерово - Яшкино – Тайга», км 54+549.

В настоящее время усиление внешним армированием всех железобетонных балочных пролётных строений на дорогах общего пользования в Кемеровской области выполняются с использованием композитных материалов,

и является наиболее распространенным способом усиления. Это составляет примерно 2-3 объекта в год.

### Список литературы:

1. Дорофеев В. С. Усиление железобетонных конструкций элементами внешнего армирования из высокоэффективных композитных материалов на основе высокопрочных волокон / В. С. Дорофеев, М. В. Заволока, Ю. В. Заволока, Ю. М. Заволока, Е. И. Рогачко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - 2014. - Вип. 55. - С. 101-111. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba\\_2014\\_55\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodaba_2014_55_17)
2. НПО РосДорНИИ Российской Федерации. Альбом № 1 технических решений по усилению железобетонных автодорожных мостов / М. Информавтодор - 1993 г., 39 с.
3. Ледина, М. В. Умный подход к ремонту и усилению железобетонных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. - №1. - С. 20-21. - Режим доступа: [http://stroymat21.ru/pdf/2011\\_01/20-21.pdf](http://stroymat21.ru/pdf/2011_01/20-21.pdf)