

УСИЛЕНИЕ АВТОДОРОЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

У статті розглядаються питання проектування і технології посилення залізобетонних мостів з використанням композиційних матеріалів

В статье рассматриваются вопросы проектирования и технологии усиления железобетонных мостов с применением композиционных материалов.

The article examines the issues of design and the technology of strengthening the reinforced concrete bridges made of composite materials.

Надежность и долговечность мостов определяется условиями их эксплуатации, своевременным и качественным проведением работ по диагностике и ремонту.

Выполнение диагностики необходимо для определения реальных геометрических параметров конструкции, фактических свойств её материалов и их распределение по сечению. Диагностика железобетонных мостов позволяет не только выявить степень их износа, но и определить причины этого явления.

При диагностике осматриваются конструкции, не имеющие повреждений, но требующие усиления в связи с увеличивающимися в результате реконструкции сооружений расчетными эксплуатационными нагрузками или из-за изменения схем работы конструктивных элементов зданий и сооружений.

При усилении конструкций композиционными материалами её диагностика и анализ напряженно-деформированного состояния играют ключевую роль при принятии решения об усилении. В ходе диагностики определяется характер повреждений конструкций, фактическая прочность бетона. Усилению подлежат железобетонные конструкции, поврежденные в ходе эксплуатации, (разрушение защитного слоя, коррозия арматуры и бетона, наличие трещин, сверхнормативных прогибов). Эти конструкции усиливаются с целью восстановления их эксплуатационных свойств и повышения долговечности. Обязательным условием усиления железобетонных пролетных строений мостов является фактическая прочность бетона на сжатие, которая должна быть не менее 15 МПа. Это ограничение не распространяется на усиление сжатых и внецентренно сжатых элементов горизонтальными обоймами, когда важна

только механическая связь обоймы с конструкцией.

При проектировании усиления железобетонных конструкций с использованием фиброармированного пластика (ФАП) для внешнего армирования используется метод расчёта по предельным состояниям.

Система усиления на основе ФАП предназначена на восприятие растягивающих усилий с учётом совместимости деформаций внешней арматуры и бетона конструкций.

Усилия в сжатой зоне в предельном состоянии изгибаемого элемента воспринимаются бетоном и сжатой стержневой арматурой, а в растянутой – стержневой арматурой и внешней композитной арматурой.

В предельном состоянии в конструкциях, сжимаемых с малым эксцентриситетом, поперечное расширение воспринимается оболочкой из ФАП.

Основные расчётные предпосылки основываются на том, что несущая способность неусиленной конструкции должна быть достаточной для восприятия постоянной и ограниченной временной нагрузки в случае повреждения системы усиления вследствие пожара, землетрясения, вандализма или других причин.

Расчёт по прочности сечений изгибаемых элементов, усиливаемых ФАП, производят из общего условия

$$M < M_{ult}. \quad (1)$$

Для сечения, симметричного относительно плоскости действия момента и дополнительном армировании композитными материалами, расположенном на грани элемента расчётное условие прочности определяется по формуле:

$$M < \sigma_f S_f + R_s S_s + R_{sc} S_{sc}, \quad (2)$$

где σ_f – напряжение во внешней арматуре из ФАП;

S_f – момент сопротивления внешней арматуры;

R_s – расчётное сопротивление растянутой стальной арматуры;

S_s – момент сопротивления растянутой стальной арматуры;

R_{sc} – расчётное сопротивление сжатой стальной арматуры;

S_{sc} – момент сопротивления сжатой стальной арматуры.

Высота сжатой зоны X при разрушении усиленного сечения по арматуре и ФАП определяется из выражения (рис. 1):

$$X = (R_{fu} A_f + R_s A_s - R_{sc} A_s) / R_b \cdot b, \quad (3)$$

где R_{fu} – расчётное сопротивление внешней арматуры из ФАП;

A_f – площадь внешней арматуры из ФАП;

A_s – площадь стальной арматуры;

R_b – расчётное сопротивление бетона;

b – ширина сечения конструкции.

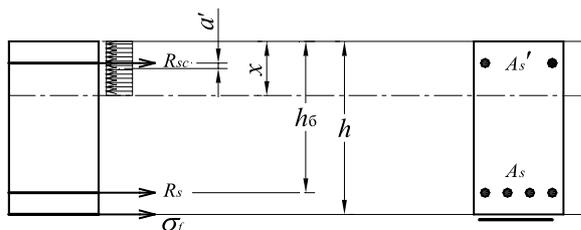


Рис. 1. Расчётная схема усиления балки

Тогда предельный изгибающий момент M_{ult} определяется по формуле:

$$M_{ult} = A_f R_{fu} (h - 0,5x) + A_s R_s (h_b - 0,5x) + A'_s R_{sl} (0,5x - a'). \quad (4)$$

При усилении железобетонных строений фиброармированными пластиками выполняются следующие работы:

- грунтовка бетонных поверхностей;
- нанесение шпаклёвочных составов;
- нанесение адгезивов – составов для пропитки и наклейки тканей и ламинатов на поверхность конструкции;
- оклейка поверхностей одно- или двуправленными тканями или ламинатами.

После очистки поверхность бетона обрабатывается грунтовочным составом для упрочнения основания и улучшения сцепления адгезива с бетонной поверхностью.

При разрушении защитного слоя и оголения рабочей арматуры необходимо очистить обна-

женную арматуру от продуктов коррозии, обработать её преобразователями ржавчины и после этого восстановить защитный слой специальными ремонтными составами.

В качестве адгезивов применяются эпоксидные, полиэфирные или винил-эфирные смолы. Эти смолы должны обеспечивать достаточное сцепление (адгезию) с бетоном и с используемыми для усиления тканями или ламинатами.

Прочность бетона основания конструкции, на которой производится усиление по условиям работы конструкции на изгиб или срез должна быть не менее 15 МПа (155 кг/см²).

Трещины с раскрытием более 0,3 мм должны быть герметизированы эпоксидными составами, а трещины с меньшим раскрытием разрешается затереть полимерцементным раствором.

Наклейка лент выполняется на слой адгезива, при этом ткань (лента) должна укладываться без складок и без лишнего натяжения. Схема наклейки лент приведена на рис. 2.

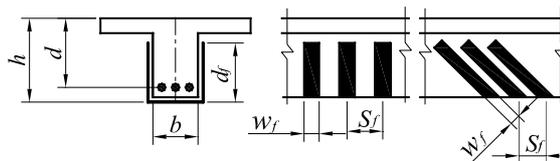


Рис. 2. Принципиальная схема усиления балки

После укладки осуществляется прикатка ткани (ленты), в процессе которой происходит её пропитка адгезивом.

При многослойной конструкции усиления укладка второго слоя ткани производится на слой адгезива из расчёта 0,5...0,6 кг/м². Операции по наклейке лент могут выполняться при температуре окружающей среды в диапазоне 5...45 °С, при этом температура основания бетона должна быть не ниже 5 °С и выше температуры точки росы на 3 °С.

Ламинат применяется как для внешнего армирования (наклейка на поверхность конструкций), так и для внутреннего армирования (размещение узких полос ламината в предварительно подготовленных пазах).

При внутреннем армировании ламинат разрезается на узкие полосы (шириной 10...30 мм).

В конструкции в соответствии со схемой армирования выполняются пазы шириной 3 мм и глубиной, равной ширине полос плюс 2 мм. Пазы заполняются адгезивом на 2/3 объёма, затем в них погружаются заготовки ламината. Избыток адгезива выдавливается на поверх-

ность и удаляется шпателем.

Количество усиливающих накладок определяется расчётом. Максимальное количество слоёв в накладке ограничивается расчётной силой сцепления с поверхностью основания.

Углеродная лента (ламинат) по длине наклейки должна выходить за пределы усиливаемой зоны не менее, чем на 100 мм (зона анкеровки) при прочности бетона основания на сжатие более 25 МПа и на 150...200 мм при прочности бетона менее 25 МПа.

С помощью композиционных материалов можно добиться восстановления конструкции, а также увеличения срока службы моста, его прочности и долговечности. Получение таких результатов возможно благодаря особым свойствам полимербетонных материалов: низкая влагопроницаемость, устойчивость к воздействию многих химических агентов.

Физико-механические свойства углепластика по завершению полимеризации: прочность на растяжение – 1100 МПа; модуль упругости – $1,0 \cdot 10^5$ МПа; относительное удлинение при разрыве – 0,8 %.

Преимущества технологии использования углеволоконных материалов для усиления конструкций:

- заменяет традиционную методику усиления конструкций;
- позволяет увеличить эксплуатационные нагрузки в 1,5 раза на бетонных конструкциях;
- увеличивает долговечность восстанавливаемых конструкций до 50 лет;
- снижает стоимость ремонтных работ по сравнению с традиционными решениями.

Практика подтвердила: в результате усиления железобетонных конструкций материалами из углеродных волокон с высоким модулем упругости снижаются напряжения в арматурной

стали и уменьшается ширина раскрытия трещин.

Конструкции, усиленные с применением композиционных материалов проявляют высокую устойчивость к динамическим, в частности, тектоническим нагрузкам. Есть возможность наклеивания холстов в три слоя, при этом образуется привлекательного вида тонкий слой с возможностью нанесения цветного защитного слоя.

Подводя итоги, можно подчеркнуть экономическую эффективность ремонта искусственных сооружений с применением композиционных материалов, что позволит при меньших расходах, по сравнению с реконструкцией, обеспечить восстановление работоспособности искусственных сооружений, а также обеспечить пропуск современных нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилин, А. А. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами [Текст] / А. А. Шилин, В. А. Пшеничный, Д. В. Капризов. – М.: ОАО Издательство «Стройиздат», 2004. – 144 с.
2. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами [Текст] / М.: МПС, 2004.
3. Усиление конструкций композитными материалами из углеродистых волокон Sika [Текст] / 2002.
4. Хаютин, Ю. Г. Усиление железобетонных конструкций автодорожных мостов композитными материалами [Текст] / Ю. Г. Хаютин, В. Л. Чернявский, Е. З. Аксельрод // Транспортное строительство № 1, 2003.

Поступила в редколлегию 14.04.2010.

Принята к печати 23.04.2010.