

Хомичук А.А.

магистрант

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ВЛЭП КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Аннотация: Представлена выжимка результатов проектной практики, посвящённой дефектации железобетонных опор воздушных линий электропередачи и подбору решений по восстановлению несущей способности с применением систем внешнего армирования на основе углеволокна. Рассмотрены типовые дефекты стоек, нормативная база и критерии выбора углеродных лент, ламелей, сеток и анкеров. Даны практические рекомендации по подготовке поверхности и контролю качества работ.

Ключевые слова: ВЛЭП, железобетонные опоры, дефекты бетона, усиление, углеволокно, композитные материалы, внешнее армирование.

Abstract: The paper summarizes project practice results on reinforced-concrete overhead power line poles and on selecting carbon-fiber-based externally bonded reinforcement. Typical defects, regulatory framework and practical selection criteria for tapes, laminates, grids and anchors are outlined together with key recommendations for surface preparation and quality control.

Key words: overhead power lines, reinforced concrete poles, defects, strengthening, carbon fiber, composites, externally bonded reinforcement.

Введение

Железобетонные стойки и фундаменты являются основным типом опор ВЛЭП в распределительных сетях. При длительной эксплуатации конструкции постепенно теряют проектные характеристики из-за переменных ветровых и

гололёдных нагрузок, карбонизации бетона, увлажнения, циклов замораживания и оттаивания, а также локальных повреждений при монтаже.

Практический запрос отрасли заключается в восстановлении несущей способности и трещиностойкости опор без масштабной замены, длительных отключений и применения тяжёлой техники. Композитные материалы на основе углеродного волокна позволяют сформировать внешний армирующий слой с высокой прочностью при растяжении и коррозионной стойкостью при минимальном увеличении массы конструкции.

Цель практики – систематизировать нормативные требования, проанализировать типовые дефекты опор и сформировать рекомендации по выбору проектных решений усиления (углеродные ленты, ламели, сетки, анкеры) с учётом технологичности и контроля качества работ.

1. Объект практики и логика принятия решений

В качестве исходной информации рассматривались результаты обследований опор предприятия, эксплуатирующего линии напряжением 0,4–110 кВ, а также корпоративное руководство по ремонту и восстановлению железобетонных конструкций опор композитными материалами. Документ содержит типовые схемы усиления, требования к материалам, подготовке основания и пооперационному контролю.

Рабочая последовательность принятия решения включает: дефектацию и оценку ремонтпригодности, расчётную проверку исходного состояния, выбор схемы усиления и выпуск технологической карты, ремонт бетона и подготовку поверхности, монтаж FRP-системы, устройство защитного слоя, приёмочный контроль и оформление исполнительной документации.

Практика показала, что ещё на этапе выбора схемы следует учитывать доступность зоны работ (высотные операции, конусность стойки, наличие закладных деталей), а также технологический цикл отверждения смол и ремонтных составов, чтобы минимизировать время ограничения работы линии.

2. Нормативная база

Базовые требования к расчёту и проверке железобетонных элементов задаёт СП 63.13330 «Бетонные и железобетонные конструкции» [1]. Проектирование внешнего армирования композитами регламентируется СП 164.1325800 [2], который описывает учёт характеристик FRP-материалов, требования к сцеплению, анкеровке и коэффициентам надёжности.

Организационно-технологические требования ремонта и усиления дополняются [2], а расчётные нагрузки и сочетания определяются по СП 20.13330 [3]. Для объектов электроэнергетики обязательно соблюдение требований ПУЭ [5], а порядок осмотров и классификация дефектов опор – по отраслевым инструкциям эксплуатации ВЛЭП соответствующих классов напряжения.

Практический вывод состоит в том, что корпоративное руководство целесообразно использовать как «каталог решений» и технологический регламент, однако расчётные проверки и ограничения должны выполняться в логике государственных сводов правил.

3. Дефекты опор и причины их возникновения

Наиболее распространёнными повреждениями стоек являются продольные/поперечные трещины, отколы и раковины бетона, оголение и коррозия арматуры, а также дефекты в зоне заделки стойки в фундаменте. Отдельной группой выделяются отклонения от вертикали (крен), приводящие к росту изгибающих моментов и раскрытию трещин[6].

Причины дефектов чаще всего комбинированные: технологические нарушения при изготовлении (пористость, недостаточное уплотнение, малый защитный слой), повреждения при транспортировке и монтаже, а также эксплуатационные факторы (влажностно-температурные воздействия, гололёд, ветер, вибрации проводов, размыв грунта).

С точки зрения ремонта принципиально отделять локальные поверхностные дефекты, устраняемые восстановлением бетона и герметизацией трещин, от

дефектов, требующих повышения несущей способности и жёсткости. В последнем случае внешнее армирование композитами позволяет стабилизировать повреждение и обеспечить требуемый запас прочности.

4. Проектные решения усиления и критерии выбора

В практике были рассмотрены четыре основных компонента FRP-систем: углеродные ленты/ткани, ламели, сетки и анкеры.

Углеродные ленты целесообразны при необходимости сформировать обойму вокруг стойки и повысить сопротивление изгибу и срезу. Многослойная схема позволяет набрать требуемую расчётную площадь волокон, однако требует тщательной прикатки и контроля отсутствия воздушных включений.

Углепластиковые ламели применяются для продольного усиления на изгиб в наиболее напряжённых зонах. Их преимущества – стабильные заводские характеристики и высокая жёсткость, а ограничения – повышенные требования к ровности основания и надёжной фиксации до отверждения клея.

Углеродные сетки часто используют для распределённого усиления поверхности и повышения трещиностойкости, в том числе в сочетании с минеральными ремонтными составами.

Анкеры из углеволокна повышают надёжность системы в местах окончания лент/ламель и там, где невозможно выполнить замкнутую обойму. Решение по анкерровке рекомендуется закладывать в проект заранее, учитывая арматурный каркас и минимальные расстояния до кромок бетона.

5. Основы расчёта и типовые риски

Расчёт усиленной опоры выполняется по предельным состояниям. По первой группе проверяют нормальные и наклонные сечения с учётом совместной работы бетона, внутренней арматуры и внешнего композитного армирования. Ключевое ограничение – предотвращение отслоения композита: на практике разрушение

чаще связано с потерей адгезии по границе «бетон–клей–композит», а не с разрывом волокон [6].

По второй группе оценивают трещиностойкость и деформативность. Усиление, как правило, снижает раскрытие трещин и повышает жёсткость, однако при проектировании следует избегать резких «ступеней» жёсткости. Рекомендуется плавное окончание слоёв (ступенчатая схема), достаточная длина захода за пределы повреждения и применение анкеров в потенциально опасных местах.

6. Технология усиления и контроль качества

Качество усиления определяется подготовкой поверхности и соблюдением технологии монтажа. Основные этапы: удаление слабого бетона, восстановление профиля ремонтными составами, шлифование и обеспыливание; контроль влажности и температуры; дозировка и перемешивание связующих; укладка лент/тканей «по свежему» адгезиву с прикаткой валиком; фиксация ламелей до набора прочности клея; утапливание сетки в минеральный слой без пустот; установка анкеров при необходимости[7].

Завершающий этап – устройство защитного покрытия (от УФ-излучения и механических воздействий) и приёмочный контроль. Контроль включает визуальный осмотр (вздутий, непропитанных зон, складок), проверку геометрии зон усиления по исполнительным схемам и, при необходимости, контроль адгезии на контрольных участках. Практический вывод: дисциплина технологии и чистота основания зачастую важнее, чем увеличение числа слоёв композита.

Заключение

Результаты проектной практики показывают, что композитное усиление железобетонных опор ВЛЭП является эффективным способом продления ресурса без замены конструкции. Эффект достигается при корректной дефектации, расчётно обоснованном выборе схемы и строгом соблюдении технологии монтажа.

Для внедрения рекомендуется: унифицировать типовые решения для распространённых серий опор, обеспечить обучение исполнителей и входной контроль материалов, применять анкеровку в зонах потенциального отслоения и обязательно выполнять защитные покрытия. Накопление данных по обследованиям усиленных опор позволит уточнять корпоративные регламенты и повышать надёжность электроснабжения.

Дополнительно целесообразно формировать «матрицу выбора» решений усиления, связывающую тип дефекта, расположение зоны повреждения, класс напряжения ВЛЭП, доступность выполнения замкнутой обоймы и требования по срокам ограничения работы линии. Такая матрица ускоряет проектирование и снижает риск неверного подбора технологии (например, применения ламелей при недостаточно подготовленном основании или отказа от анкеровки в зоне окончания лент).

В части контроля качества рекомендуется вести фотофиксацию каждого этапа (после удаления дефектного бетона, после восстановления ремонтным составом, после шлифования и обеспыливания, после наклейки каждого слоя), а также фиксировать фактический расход связующих и параметры окружающей среды. При наличии сомнений в прочности верхнего слоя бетона оправдано выполнение контрольных отрывных испытаний на отдельной площадке опоры до начала основного усиления.

Таким образом, реализация композитного усиления как стандартизированного процесса «обследование – проект – технология – контроль» позволяет перейти от реактивного ремонта к управлению ресурсом опор и планированию реконструкций на основе фактического состояния.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

2. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
4. СП 349.1325800.2017. Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е издание.
6. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. М.: Стройиздат, 2004. 139 с.
7. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами // Известия вузов. Строительство. 2010. № 2. С. 112–124.

© Хомичук А.А., 2026