

УДК 621.311.1

**Анализ преимуществ от внедрения композитных опор  
в электрических сетях Республики Беларусь**

Сазонов П.А.

Научный руководитель –, д.т.н., проф. ФУРСАНОВ М.И.

Линии электропередач – одна из важнейших составляющих электрической системы, от надежности которой зависит бесперебойность электроснабжения потребителей. На бесперебойность электроснабжения влияют все входящие в состав ЛЭП элементы. Прочность, устойчивость к внешним воздействиям опор линий электропередач, линейной арматуры, изоляторов должна быть максимально высокой.

В последнее время для строительства и ремонта воздушных линий высокого и сверхвысокого напряжения предлагаются решения на базе опор ЛЭП из композитных материалов. Внедрение композитных опор оказывает положительное влияние на надежные и экономические показатели электроэнергетических объектов.

Активному распространению традиционных железобетонных опор способствовали следующие факторы:

- Железобетонные опоры неприхотливы к климатическим условиям мест их установки. Они выдерживают частые осадки, ветер, скачки температур, они могут эксплуатироваться в районах с температурой воздуха до  $-55^{\circ}\text{C}$ ;

- Опоры рассчитаны на продолжительную эксплуатацию и в процессе использования не требуют к себе внимания;

- Стойкость к коррозии и к воздействию химических реагентов из окружающей среды.

Главными недостатками опор из железобетона являются их низкие прочностно-весовые характеристики, и как следствие высокие затраты при транспортировке из-за больших габаритов и массы изделий, а так-же низкие прочностно-весовые характеристики вызывают необходимость применения при сборке и монтаже кранов большой грузоподъемности, что может привести к возникновению дефектов при транспортировке (трещины, сколы). Еще одним существенным недостатком при эксплуатации железобетонных опор является отсутствие ремонтпригодности. В случае дорожно-транспортных происшествий у опор появляются сильные повреждения, растрескивание бетона, возможны критичные повреждения для автомобиля и человека.

Основным элементом железобетонной опоры является стойка. По способу изготовления стойки бывают центрифугированные и вибрированные. По конструктивному исполнению железобетонные опоры делятся на одноствоечные-свободностоящие, на оттяжках и порталные-свободностоящие и на оттяжках.

Стальные опоры выполняются из малоуглеродистой или низколегированной стали в зависимости от назначения опор и расчетной температуры в районе сооружения линии электропередачи. Выбирая конструктивные схемы опор и подходящие профили проката, можно получать конструкции стальных опор для любых условий и нагрузок.

К преимуществам стальных опор относятся:

- Возможность создания конструкций на весьма большие механические нагрузки, большое число проводов и большие высоты;

- Относительно малая масса и высокая механическая прочность;

- Простота заводского изготовления и технологичность сборки на трассах;

- Опоры ремонтпригодны. При их незначительном повреждении достаточно нанести на металл краску, содержащую цинк;

- В случае ДТП остаются вмятины на транспортном средстве. Происходит поглощение силы удара опорой, что уменьшает риск гибели человека;

• При правильной установке и соответствующей эксплуатации средний срок службы составляет до 50 лет.

Главный недостаток металлических опор ЛЭП – большое количество сборочных единиц, и как следствие, увеличенные трудозатраты при монтаже. Сроки монтажа стальных опор ВЛ могут превышать в несколько раз, чем у аналогичных железобетонных опор.

По способу соединения элементов стальные опоры разделяются на сварные и болтовые. В первом случае все соединения стержней пространственной конструкции опоры выполняются на сварке, а во втором случае — на болтах. Практически чисто сварных или чисто болтовых конструкций не бывает. Сварные опоры изготавливаются на заводе в виде нескольких пространственных сварных секций, которые соединяются на месте установки при помощи болтов. Болтовые опоры обычно имеют отдельные элементы со сварными соединениями.

Для защиты от коррозии сварные секции и детали опор окрашиваются на заводе. Более надежная защита опор от коррозии производится путем горячего оцинкования их элементов. Наиболее удобны для оцинкования болтовые опоры. Горячее оцинкование включает в себя покрытие металла слоем цинка для защиты от коррозии, металлическое изделие окунают в ванну с расплавленным цинком при температуре 460°С. Горячее цинкование считается одним из самых надёжных, экономичных и потому распространённых методов защиты железа и стали от коррозии [1, с 43].

При изготовлении деревянных опор наибольшее распространение имеют хвойные деревья. Главная причина – наличие большого количества смолы, которая препятствует проникновению влаги.

Для глубокого проникновения антисептической пропитки и, соответственно защиты от бактерий и грибов деревянные опоры обрабатывают в специальных автоклавах, где на них поочередно воздействуют вакуум и высокое давление.

Деревянные опоры имеют ряд преимуществ по сравнению с железобетонными и металлическими конструкциями: отсутствие «эффекта домино», простота монтажа, установки и доставки, низкая стоимость.

К недостаткам деревянных опор можно отнести: при несоблюдении ГОСТов срок службы сокращается значительно, гниение, пожароопасность, усушка дерева, которая может привести к ослаблению бандажей, наличие вредных веществ, полученные при пропитке,

Все детали при сборке опор должны быть плотно пригнаны друг к другу. Зазор в местах врубок и стыков не должен превышать 4 мм. Обработку стоек и приставок следует выполнять таким образом, чтобы стык был совершенно плотным, без просветов. Древесина в местах стыков должна быть без сучков и трещин. Зарубы, затесы и отколы должны быть выполнены на глубину не более 10 % диаметра бревна. Рабочие поверхности врубок должны быть выполнены сплошным пропилом (без долбежки)[1, с. 42].

Бандажи для сопряжения приставок с опорой должны выполняться из мягкой стальной оцинкованной проволоки диаметром не менее 4 мм. Допускается применение неоцинкованной проволоки диаметром от 5 до 6 мм, покрытой асфальтовым лаком. Число витков бандажа зависит от диаметра проволоки и, если нет специальных указаний в проекте, должно быть равно: 12 – при диаметре проволоки 4 мм; 10 – при 5 мм и 8 – при 6 мм. Все витки бандажа должны быть равномерно натянуты и плотно прилегать друг к другу. При обрыве одного витка весь бандаж следует заменить новым. Концы проволоки бандажа необходимо забивать в дерево на глубину 20–25 мм[1, с. 42].

Допускается вместо проволочных бандажей применять специальные стяжные (на болтах) хомуты, механическая прочность которых должна быть проверена расчетом. Каждый бандаж (хомут) должен сопрягать не более двух деталей опоры [1, с. 42].

Современная энергетика — одна из самых крупных и высокоразвитых отраслей промышленности и это требует применения новых материалов. При сооружении линий электропередач в качестве таких материалов могут выступить полимеры (стеклопластик).

При производстве композитных опор ЛЭП основным материалом являются стеклопластики. Одним из видов композиционных материалов является стеклопластик. Это пластичный материал в основе которого стоит стекловолоконный наполнитель (кварцевое волокно, стеклянное волокно) и специального связующего вещества, чаще всего ими являются термопластичные полимеры.

При небольшой плотности стеклопластики обладают высокими физико-механическими характеристиками ([4, с. 27], таблица 1). Используя некоторые смолы и определенные виды армирующих материалов, можно получить стеклопластики, по своим удельным прочностным характеристикам превосходящие некоторые сплавы цветных металлов и сталь.

Таблица 1 – Физико-механические свойства различных материалов

Физико-механические свойства	Стеклопластик	Железобетон	Сталь	Алюминий
Плотность, т/м <sup>3</sup>	1,6-2,0	2,5	7.8	2,7
Разрушающее напряжение при растяжении. МН/м <sup>2</sup>	410-1180	В 10 раз меньше, чем при сжатии	410-480	80-430
Предел прочности при изгибе. МН/м <sup>2</sup>	690-1240	5,2	400	275
Модуль упругости при растяжении. ГПа	21-41	0.07	210	70
Коэффициент линейного расширения. 10 <sup>^(-6)</sup> °C <sup>-1</sup>	5-14	12-15	11-14	22-23
Коэффициент теплопроводности. Вт/мхК	0.3-0,35	1,5-2	46	140-190
Удельное объёмное электрическое сопротивление, Ом х м	1,0х10 <sup>^10</sup>	Токопроводящая арматура	Проводник	Проводник

Механические свойства стеклопластика определяются преимущественно характеристиками наполнителя и прочностью его связи со связующим материалом. Наибольшей прочностью и жесткостью обладают стеклопластики, содержащие ориентированно расположенные непрерывные волокна. Такие стеклопластики подразделяются на однонаправленные и перекрестные. В первом случае волокна располагаются параллельно, а во втором – под углом друг к другу, который поддерживают постоянным или изменяют в различных частях изделия, управляя механическими и другими характеристиками конструкции. При изготовлении стеклопластики хорошо окрашиваются в любой цвет и при использовании стойких красителей могут сохранять его неограниченно долго. [4, с. 31].

В США композитные опоры производителя «RStandard» удается эффективно использовать в сетях среднего напряжения 7.2 кВ. Авторы статьи [5] указывают на достаточность чередования деревянных и композитных опор в определенной пропорции, что

уже повышает эксплуатационные характеристики линий. Такие ограничения объясняются высокой стоимостью композитных стоек. Эксплуатирующая организация считает, что стоимость опор компенсируется низкими затратами на монтаж и обслуживание, а также высокой надежностью конструкций и снижением аварийности. Рассмотренный опыт является наиболее показательным, а опоры RStandard наиболее подходящими для реализации проектов ВЛ высокого напряжения. Другие производители предлагают решения в основном для сетей среднего и низкого напряжения. Электросетевые компании различных стран мира заинтересованы в подобной продукции. В частности, рассматриваются решения по замене деревянных опор на стеклопластиковые в классах напряжения до 220 кВ. Активно опоры RStandard используются на территории Канады, где находится их производство [6, с. 79].

Конкурентными преимуществами композитных опор перед традиционными конкурентами являются:

- малый вес опор. Опора высотой 12 метров весит всего 68 кг, что в несколько раз меньше веса деревянных опор ([3], таблица 2);

Таблица 2 – Сравнение массогабаритных характеристик опор

Композитные опоры		Деревянные опоры		Стальные опоры		Железобетонные опоры	
Высота опор, мм	Вес*, кг	Высота опор, мм	Вес**, кг	Высота опор, мм	Вес, кг	Высота опор, мм	Вес, кг
8000	38-45	8500	180, 240, 320	9000	210	9500	800
9000	42-66	9500	200, 280, 380	18,6	1236	10500	1200
11000	57-92	11000	240, 370, 460	19,6	1468+20	11000	1100
12000	68-110	12000	300, 380, 530	24,9	2528	16400	3620

\* Вес композитных опор указан для различных расчетных значений нагрузки на вершину опоры: 250 – 500 кг.

\*\* Вес деревянных опор указан для различных классов: L (легкие), M (средние), S (прочные).

Упрощение хранения и транспортировки. Объясняется это тем, что секции опор полые и их можно хранить и перевозить одна в другой, по принципу «матрешки», представлено на рисунке 1;



Рисунок 1. Принцип хранения и перевозки композитных опор.

- простота монтажа опор. Для сборки и установки опор из композитных материалов не требуется применение сложных монтажных инструментов и тяжелой техники, что ведет к удешевлению стоимости транспортировки и монтажных работ;

- не требуется техническое обслуживание в процессе эксплуатации. Опоры из композита не подвержены коррозии (так как не содержат стальных элементов) и гниению, поэтому не требуется периодически восстанавливать лакокрасочное покрытие опор и их гидроизоляцию, заделывать трещины и т.д;

- опоры из композитных материалов обладают высокой прочностью и долговечностью. Западные производители дают гарантию 40 лет на появление производственных дефектов и пожизненную гарантию на повреждения связанные с воздействием на опору льда, снега, ветра или удара молнии. Расчетный срок службы составляет 100 лет;

- огнестойкость и экологичность. Нет проблем с утилизацией опор, подобных деревянным опорам пропитанных креозотом;

- хорошие диэлектрические свойства;

- безопасность для автотранспорта. Опоры из композитных материалов являются более ударобезопасными по сравнению с железобетонными и металлическими аналогами, не наносят травм участникам движения и серьезных повреждений транспортным средствам при ДТП. В случае наезда сильному механическому повреждению подвергается опора, а не автомобиль с водителем и пассажирами [3].

Стандартные опоры ЛЭП это проводники, что влечет определенные особенности, которые надо будет учитывать при изоляции ЛЭП. Этого недостатка лишены композитные опоры, так как они являются диэлектриками. Это приводит к упрощению схемы защиты и габаритов линии.

Недостатки композитных опор:

- производство данных опор не развито, следовательно, цена на них выше [3]

- отсутствие опоры применения данного типа материалов при сооружении опор .

Таблица 3 – Сравнение стоимости опор в российских рублях на 2017 год

Композитные опоры		Деревянные опоры		Железобетонные опоры		Стальные опоры	
Высота опор, мм	Стоимость**, руб	Высота опор, мм	Стоимость**, руб	Высота опор, мм	Стоимость**, руб	Высота опор, мм	Стоимость**, руб
8000	19000	8000	2800	9500	5700	9000	14000
9000	21000	9000	3200	10500	6300	18,6	70000
11000	25000	11000	3800	11000	7000	19,6	85000
12000	29500	12000	4700	16400	21300	24,9	150000

Расчет среднего показателя себестоимости (Р) различных типов опор к их номинальному сроку эксплуатации производится по формуле:

$$P = \frac{3}{C}$$

где, 3 – среднегодовые затраты;

C - срок эксплуатации.

Таблица 4 – Стоимость использования опор высотой 11 м за срок эксплуатации

	Композитные опоры	Деревянные опоры	Железобетонные опоры	Стальные опоры
Ц	25000*	3800	7000	85000
С	100	30	60	50
Р	250	126	116	1700

Анализируя полученные данные (таблица 4), преимущества и минусы каждого типа опор, композитные опоры являются оптимальным вариантом. Наиболее целесообразно их применение в местах с отсутствием или плохим дорожным покрытием, где тяжелая техника не сможет вести работы, а также в районах со сложной климатической обстановкой: сильные ветра, резкие перепады температур.

#### Литература

1. Справочник по строительству и реконструкции линий электропередачи напряжением 0,4–750 кВ Анатолий Кравцов, Борис Узелков, Ефим Гологорский. С. 27-43.
2. Короткевич М.А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть. Минск: Высшая школа, 2010. С. 417-421.
3. Достоинства и недостатки опор из композитных материалов <http://elektromontagnik.ru/>
4. Преображенский, А.И. Стеклопластики – свойства, применения, технологии // Главный механик. 2010. №5. С. 27–36.
5. Колтарп С., Вайд Т. Стоя в полный рост наперекор погоде. Суровая погода подтверждает решение сетевой компании установить стеклопластиковые опоры // Воздушные линии. 2015. № 1. С. 60-64.
6. Бочаров Юрий Николаевич, Жук Владислав Викторович К вопросу о композитных опорах воздушных линий // Труды Кольского научного центра РАН. 2012.