

Проектирование опор воздушных линий электропередачи напряжением
35 кВ и выше

Доктор технических наук, профессор Короткевич М.А.
Белорусский национальный технический университет

Многие годы приоритетным направлением в проектировании линий электропередачи различных номинальных напряжений служит выбор унифицированных конструктивных элементов для сооружения линий электропередачи.

Внедрение рыночных отношений в хозяйственную деятельность энергосистем не исключает возможности разработки индивидуальных проектов конструкции опор для конкретных линий, работающих в конкретных климатических условиях.

На выбор типа и материала опор влияют: номинальное напряжение линии, марка провода, климатические условия (толщина стенки гололеда, скоростной напор ветра, диапазон температур наружного воздуха, интенсивность грозовой деятельности), условия прохождения трассы линии, характеристики грунтов, наличие пересекаемых препятствий.

Металл как наиболее долговечный из применяемых материалов может быть использован при создании опор для любых условий и любого расположения проводов, обеспечивая требуемую высоту их подвеса.

Необходимость экономии стали, относившейся к дефицитным и дорогим материалам, заставила в свое время обратиться к ее заменителю - железобетону, в котором сочетаются положительные свойства бетона (хорошо сопротивляющегося сжатию) и стальной арматуры (хорошо работающей на растяжение).

В последние годы разработаны и находят применение опоры на многогранных гнутых стойках, устанавливаемых на фундаментный модуль в виде металлической трубы со стенкой толщиной 10 мм, и соединенных с ним с помощью фланца.

Применение опор из многогранных стоек необходимой проектной высоты обеспечивает увеличение длины габаритного пролета и, соответственно, снижение количества опор на линии по сравнению с количеством требуемых унифицированных железобетонных опор. Однако стоимость таких опор выше стоимости металлических опор решетчатой конструкции в два и более раза. Отмеченное обстоятельство нивелируется неоспоримыми преимуществами опор из гнутых стоек:

- вес одной опоры из гнутых стоек более чем в два раза меньше веса опоры из уголкового стали;

- габариты секций опоры (длина секций не превышает 12 м) позволяют их перевозить с использованием железобетонных полувагонов или автотранспортной техники без применения специальных опорозов и автоплат-

форм; транспортировка значительно меньших по весу и габаритам секции опор дешевле транспорта железобетонных опор в 3...4 раза, а решетчатых опор – в 1,5...2,0 раза; при этом верхние секции могут размещаться внутри нижних, что снижает затраты на транспорт;

- снижается объем строительно-монтажных работ на пикете за счет уменьшения на порядок затрат времени на сооружение одной опоры (0,5...1,0 час против 12,0...16,0 час при сборке и установке опоры решетчатой конструкции), что приводит к снижению затрат на установку многогранных опор на 20...40% и повышению скорости строительства; трудозатраты на монтаж и установку многогранной и железобетонной опор примерно одинаковые, затраты на монтаж и установку решетчатых опор в шесть раз больше аналогичных затрат при использовании многогранных опор;

- стоимость сооружения линии напряжением 0,38...10 кВ и 35...220 кВ на опорах из многогранных стоек соответственно на 6...10% и 20...40% ниже стоимости сооружения линий на железобетонных (линии напряжением 0,38...10 кВ) и металлических (линии напряжением 35...220 кВ) опорах из уголкового стали;

- стоимость сооружения линии напряжением 330 кВ на опорах из многогранных стоек такая же, как и на металлических опорах из уголкового стали;

- снижаются расходы на эксплуатацию, так как оцинкованные многогранные опоры не нуждаются в покраске; такая необходимость может возникнуть только по истечении тридцатилетнего срока эксплуатации (за период эксплуатации расходы на покраску опор из гнутых стоек на порядок ниже расходов на покраску опор из уголкового стали, осуществляемой один раз в 10 лет);

- для размещения опор из гнутых стоек требуется меньшая площадь отчуждаемой территории (12 м² вместо 150 м² для металлических широкобазовых опор решетчатой конструкции); затраты на постоянный землеотвод снижаются примерно в 2 раза за счет меньшего количества опор по сравнению с железобетонными опорами и за счет меньшего отвода под одну опору решетчатой конструкции;

- опоры из гнутых стоек более эстетичны по сравнению с опорами из уголкового стали;

- конструкция опоры из гнутых стоек не позволяет осуществлять акты вандализма, так как не имеет металлических уголков решетки, являющихся объектом краж злоумышленников.

Оценка эффективности применения стальных многогранных опор на основании сравнения дисконтированных затрат на строительство и эксплуатацию воздушных линий с аналогичными показателями при использовании других видов конструкций (стальных решетчатых или железобетонных опор проводится по формуле

$$З = EK + И = (E + p)K, \quad (1)$$

где Z – приведенные затраты; E – коэффициент эффективности капитальных вложений; примем равным 0,1; K – единовременные капитальные затраты; $И$

– годовые эксплуатационные расходы (ежегодные издержки); p – доля отчислений от капитальных затрат на эксплуатацию линии; равна 0,028.

Примем капитальные затраты на сооружение одноцепной линии напряжением 35...220 кВ на железобетонных опорах в относительных единицах за единицу, тогда

$$Z_{ж/б*} = 0,128.$$

Капитальные затраты на сооружение одноцепной линии на металлических решетчатых опорах в 1,4 раза больше, чем на железобетонных опорах [1]. Следовательно

$$Z_{р.о*} = 0,128 \cdot 1,4 = 0,179.$$

Капитальные затраты на сооружение одноцепной линии на многогранных опорах примерно равны капитальным затратам на сооружение линий на железобетонных опорах [2, 3], т.е.

$$Z_{м.о*} = Z_{ж/б*} = 0,128.$$

Таким образом, по значениям приведенных затрат можно сказать об одинаковой эффективности применения как железобетонных опор, так и металлических опор на многогранных гнутых стойках.

Материал и конструкцию опор линий электропередачи следует выбирать с учетом не только стоимостных показателей, но и показателей надежности (безотказности, долговечности).

Рассмотрим подход к выбору материала и конструкции опор для линий электропередачи из ряда: железобетонные опоры, металлические решетчатой конструкции и металлические многогранные опоры.

Необходимость учета качественных показателей (надежность, эстетичность) при выборе материала опор воздушных линий электропередачи обуславливает использование соответствующих математических методов, например, метода многоцелевой оптимизации.

Задачу в терминах многоцелевой оптимизации сформулируем в следующем виде: необходимо выбрать материал опор для воздушных линий электропередачи - железобетон, металл (решетчатые опоры и из многогранных стоек) при обеспечении минимума дисконтированных затрат (цель 1), максимума надежности (цель 2), максимума эстетичности (цель 3).

Структуру целевой функции E зададим в виде

$$E = \sum_{i=1}^n v_i e_i, \quad (2)$$

где v_i – оценка важности i -й цели ($i = 1, 2, \dots, n$); при этом $\sum_{i=1}^n v_i = 1,0$; e_i – относительная эффективность i -й цели.

Относительную эффективность i -й цели найдем по следующим формулам:

для минимизируемых целей

$$e_i = \frac{\min x_i}{x_i}, \quad (3)$$

для максимизируемых целей

$$e_i = \frac{x_i}{\max x_i}, \quad (4)$$

где x_i – текущее значение показателя i -й цели.

Расчетные значения для определения показателей эффективности целей для линий электропередачи с опорами из различных материалов приведены в таблице 1. При этом, показатели целей, относящиеся к линиям электропередачи с железобетонными опорами приняты равными единице.

Укажем факторы, оказывающие существенное влияние на показатели надежности и долговечности металлических многогранных стоек:

- высокая коррозионная стойкость опор из многогранного профиля (толстостенная замкнутая конструкция стоек хорошо защищена при помощи цинковых покрытий, минимальное количество пазух для сбора влаги позволяет избежать проблем, связанных со щелевой коррозией);

- малое количество болтовых соединений уменьшает вероятность разрушения конструкции по причине выхода их из строя;

- высокая степень сохранности опор из многогранного профиля при транспортировке;

мощные фундаменты, устанавливаемые под многогранные опоры, обладают более высокой долговечностью по сравнению с легкими, разнесенными в пространстве, фундаментами башенных опор;

- металлические фундаменты под многогранные опоры могут служить глубинными заземлителями, не требующими регулярного контроля их состояния.

На испытаниях металлические многогранные опоры разрушались при нагрузках в 1,4 раза превышающих расчетные, которые, в свою очередь, принимались по аналогам традиционных стоек.

Однако, многогранные опоры могут изгибаться при пожаре на трассе и могут быть их вершины срезаны автоматной очередью.

Таблица 1 – Расчетные относительные показатели целей для линий электропередачи напряжением 110 кВ из различных материалов

Но- мер цели	Наименование цели	Значение x_i при выполнении линии на опорах		
		железо- бетон- ных	металлических	
			решетчатых	из многогран- ных стоек
1	Минимум приведенных затрат	1,0	1,4	1,0
2	Максимум надежности	1,0	1,2	1,7
3	Максимум эстетичности	1,0	0,8	1,2

Относительная эффективность целей, определенная по формулам (2) и (3) и данным таблицы 1, приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Относительная эффективность целей

Но- мер цели	Наименование цели	Значение x_i при выполнении линии на опорах		
		железо- бетон- ных	металлических	
			решетчатых	из многогран- ных стоек
1	Минимум приведенных затрат	1,0	0,71	1,0
2	Максимум надежности	0,6	0,83	1,0
3	Максимум эстетичности	0,83	0,66	1,0
	$\sum_{i=1}^3 e_i$	2,43	2,20	3,00

При одинаковой важности всех целей наиболее эффективно применение многогранных стоек, так как для них $E \rightarrow \max$ и превышает значение критерия оптимизации для других рассматриваемых вариантов более, чем в 1,2 раза. Если значимость первой и второй цели равных 0,4, а третьей 0,2, то вывод о более целесообразном применении многогранных стоек опор сохраняется. Здесь $E_1 = 0,806$; $E_2 = 0,748$; $E_3 = 1,00$.

Выводы

1. В нынешних условиях необходим индивидуальный подход к проектированию воздушных линий электропередачи.
2. При выборе материала и конструкции опор линий электропередачи следует учитывать не только стоимостные показатели, но и показатели надежности и другие качественные характеристики.

Литература

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем; под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
2. Вариводов, В.Н. Стальные многогранные опоры для распределительных электрических сетей. Возможности и перспективы / В.Н. Вариводов, С.Е. Казаков // Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2005. - № 2. – 6 с.
3. Короткевич, М.А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть / М.А. Короткевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 574 с.