

# АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР ЛЭП

## ANALYSIS OF THE STRUCTURAL SYSTEMS OF METAL TRANSMISSION TOWERS

*д.т.н., профессор Горохов Е.В., д.т.н., профессор Югов А.М., к.т.н., профессор Васылев В.Н. ассистент Игнатенко Р.И. (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры)*

*Dr. Professor Ye. Gorokhov, Dr. Professor A. Yugov, Professor V. Vasylev, R. Ignatenko (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture)*

### Аннотация

В статье систематизированы типы металлических опор ЛЭП, приведена классификация типов существующих опор и их конструктивных особенностей.

**Ключевые слова:** металлические опоры ЛЭП, конструктивный тип опоры.

### Summary

In the article the types of metal transmission towers, a classification of types of existing supports and their design features.

**Keywords:** power transmission line metallic towers, constructive type of a tower

**Формулировка проблемы:** опоры линий электропередачи представляют собой наиболее распространенное сооружение в любой промышленно развитой стране. При этом в первую очередь разработчиков интересовал вопрос стоимости изготовления и монтажа конструкции, а также ее технологичность. Уникальность и оригинальность, художественная выразительность конструкции опор ЛЭП прямо противоречили основным экономическим требованиям, предъявляемым к конструкции.

В настоящее время, в связи с упрощением процесса расчета элементов конструкции опор, появлением новых конструктивных решений и материалов, возник вопрос уточнения существующей на данный момент классификации типов металлических опор ЛЭП.

**Анализ исследований и публикаций:** В промышленно развитых странах массово проявляются тенденции отказа от массового применения типовых унифицированных проектов опор ЛЭП. Каждая линия должна проектироваться с учетом всех особенностей рельефа, климата, социальной значимости и т.п. Современные требования к проектированию воздушных линий электропередачи приводят к тому,

что становится экономически нецелесообразно применять унифицированные конструкции опор с их последующей привязкой к местности. Более обоснованным представляется подход к индивидуальному проектированию отдельных участков линии, и даже отдельных опор, которые отличаются либо технологическими требованиями, либо величиной внешних, в первую очередь, климатических нагрузок.

Несмотря на активное использование опор ЛЭП, в большинстве их дизайн не менялся с 1920-х годов. Каждая опора достигает высоты 50 м и весит до 30 т. При этом, они возводятся в живописных местах страны, в природных ландшафтах, рядом с памятниками архитектуры и т. д. Поэтому назрела необходимость в разработке опоры ЛЭП нового типа, более эффективной и визуально привлекательной.

#### **Цель исследования:**

Анализ конструктивных решений систем металлических опор ЛЭП с детальным анализом отечественного и зарубежного опыта проектирования. Новые тенденции в проектировании опор ЛЭП.

#### **Задачи работы:**

Разработка классификации конструктивных решений систем металлических опор ЛЭП.

#### **Анализ конструктивных типов металлических опор ЛЭП.**

Воздушные линии электропередачи служат для передачи и распределения электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и закрепляемым при помощи линейной арматуры и изоляторов на опорах. Опора линии электропередачи — сооружение для удержания проводов на заданном расстоянии от поверхности земли и друг от друга.

Металлические виды опор ЛЭП применяются при монтаже сетей с напряжением выше 35 кВ.

Металлическая решетчатая опора ЛЭП башенного типа - это пространственная конструкция, состоящая из 300-600 элементов уголкового профиля (в зависимости от высоты и типа опоры).

Опоры ЛЭП по функциональному назначению разделяют на группы в зависимости от способа крепления к ним проводов: промежуточные, анкерные, угловые, концевые и специальные.

Промежуточные опоры подразделяются на прямые и угловые, устанавливаются на прямых участках ЛЭП, предназначены только для поддержания проводов и тросов, и не рассчитаны на нагрузки направленные вдоль трассы. Обычно количество промежуточных опор составляют 80 — 90 % от всех опор линии электропередачи. Провода

крепятся при помощи поддерживающих зажимов. На ровных участках трассы используются промежуточные прямые опоры. Конструкция таких опор позволяет им выдерживать вертикальные нагрузки от веса проводов и изоляторов и горизонтальные, создающиеся давлением ветра на саму опору и провода. Промежуточные угловые опоры используются при повороте линии электропередачи. Их вес значительно больше, они способны выдерживать нагрузки от поперечных составляющих натянутых проводов, тросов, а также гирлянд изоляторов, закреплённых на них.

Анкерные опоры устанавливаются на прямых участках ЛЭП в местах перехода через инженерные сооружения или естественные преграды для ограничения анкерного пролета, а также в местах изменения числа, марок и сечений проводов. При установке таких опор на прямом участке протяжённости электросетей они выполняют функцию промежуточных. Анкерная опора воспринимает нагрузку от разности тяжения проводов и тросов, направленную вдоль линии электропередачи. Конструкция анкерных опор ЛЭП отличается повышенной несущей способностью. Провода закрепляются натяжными зажимами опор. Используются также анкерно-угловые опоры, воспринимающие нагрузку от натянутых поперечно проводов.

Угловые опоры рассчитаны на эксплуатацию в местах изменения направления трассы ВЛ, воспринимают результирующую нагрузку от тяжения проводов и тросов смежных пролетов трассы. При небольших нагрузках - на углах поворота до  $30^\circ$ , применяют угловые промежуточные опоры. При углах поворота более  $30^\circ$  используют угловые анкерные опоры, которые имеют более прочную конструкцию и анкерное крепление проводов.

Концевые опоры предназначены для монтажа на конце линии и рассчитаны на натяжение проводов с одной из сторон.

Специальные опоры сооружают при переходах через реки, железные дороги, ущелья и т. п. Подразделяются на транспозиционные — для изменения порядка расположения проводов на опорах ВЛ; переходные — для перехода линии электропередачи через инженерные сооружения или естественные преграды; ответвительные — для устройства ответвлений от магистральной линии электропередачи; противоветровые — для усиления механической прочности участка ЛЭП; перекрестные — при пересечении ЛЭП двух направлений. Они обычно значительно выше нормальных, и их выполняют по особым проектам.

Анкерные, промежуточные, угловые, и специальные опоры при наличии технико-экономических обоснований могут применяться

в условиях, отличных от принятых в проекте. Так, например, опоры для горных линий могут применяться на пересеченной местности и на равнинных участках линий в сложных гололедно-ветровых условиях. Опоры для городских условий могут применяться на трассах линий вне городов, опоры для линий более высокого напряжения могут быть установлены на линиях более низкого напряжения (например, в районах с загрязненной атмосферой, при пересечении препятствий и т. п.).

Конструкция металлических опор ЛЭП разрабатывается с учетом ряда факторов, основными из которых являются:

- соответствие требуемым параметрам по подвеске проводов;
- надежность;
- минимизация расхода материала;
- технологичность изготовления и монтажа;
- работа конструкции в тех или иных сложных условиях;

Предпочтение одного из вышеперечисленных факторов, или их комбинации привело к значительному разнообразию видов конструкций металлических опор ЛЭП.

Конструкция опоры состоит из ряда типовых элементов – ствола, траверсы и тросостойки.

Все типы опор, несмотря на разнообразие, рассчитываются по основным конструктивным схемам, которыми являются вертикальная решетчатая башенная стойка, жестко заземленная в основании, и вертикальная решетчатая башенная стойка, шарнирно закрепленная у основания. Траверса представляет собой консольную балку.

Пространственные стержневые системы представляют собой сложные статически неопределимые системы. Усилия, перемещения и опорные реакции в системе определяются численными методами строительной механики, как правило методом конечных элементов.

Ствол башенной решетчатой опоры представляет собой обелиск с малым углом наклона поясов к продольной оси, или призматический стержень прямоугольного или треугольного сечения.

Усилия в несущих поясах свободностоящих опор определяются изгибающими моментами от нагрузок, которые в нормальных режимах направлены перпендикулярно оси ВЛ, а в аварийных - вдоль оси ВЛ. При этом изгибающий момент, действующий на стойки опор, увеличивается в направлении к поверхности земли.

Стальные свободностоящие опоры из многогранных стоек выполнены по схеме консоли с заземленным концом. Стойки опор выполняются с изменяющимся по высоте опоры сечением.

Металлические многогранные опоры – это многогранная коническая конструкция, которую изготавливают из стального листа. Этот лист изгибают и продольно сваривают. Такая опора может состоять из нескольких секций и достигать 40 метров в высоту. Опоры такого типа считаются более выгодными с экономической точки зрения и надежными по сравнению с решетчатыми опорами, а так же имеют лучшую транспортабельность. Опоры подобного типа в последние десятилетия получили широкое распространение в США и Канаде, где большая часть новых ЛЭП строится с использованием опор этого типа, получивших название "poles". Стойки опор состоят из отдельных секций длиной 10 - 15 метров. В СССР были разработаны аналогичные опоры серии ПМ, однако они не нашли широкого применения при строительстве ЛЭП, очевидно в силу своей высокой цены и сложной технологии производства.

Стальные многогранные опоры ЛЭП предназначены для установки на высоковольтных линиях электропередачи. Опоры ЛЭП эксплуатируются в I-V ветровых и гололедных районах в населенной и ненаселенной местности в соответствии с ПУЭ-7 в районах с расчётной температурой воздуха до  $-65^{\circ}\text{C}$  и выше. Многогранные металлические опоры выполнены из стоек в виде полых усечённых пирамид из стального листа с поперечным сечением в форме правильного многогранника. Секции стоек соединены между собой телескопическим или фланцевым соединениями. Траверсы таких опор выполнены многогранными, решётчатыми или изолирующими.

Решетчатые опоры на оттяжках могут быть одностоечными и двухстоечными, с количеством оттяжек от двух до шести. Независимо от конструктивной схемы стойки опор на оттяжках испытывают не изгибающие, а сжимающие усилия, оттяжки в таких опорах воспринимают растягивающие усилия. Характер нагрузок, воздействующих на стойки опор на оттяжках, позволяет использовать для стоек достаточно малые сечения. Размер сечения для стоек опор этого типа определяется из соображений общей устойчивости конструкций. Характерный размер сечения стоек опор на оттяжках находится в пределах 1 метра. Закрепление оттяжек выполняется при помощи анкерных плит, винтовых анкеров или свай.

Опоры на оттяжках - это плоскостные конструкции с применением жестких решетчатых стержней и пространственной ориентацией оттяжек. К достоинствам такой конструктивной формы можно отнести простоту укрупнительной сборки на монтаже ввиду плоскостного строения опоры, что немаловажно в полевых условиях.

Усиливающие конструкцию опоры оттяжки могут быть и у свободностоящих опор.

Существующая в настоящее время унификация стальных опор содержит, кроме основных типов опор, специально разработанные подставки, тросостойки, траверсы и другие элементы, предназначенные для получения повышенных и косогорных опор, опор с двумя тросами, и опор других модификаций, необходимых при конкретном проектировании в разнообразных условиях линейного строительства.

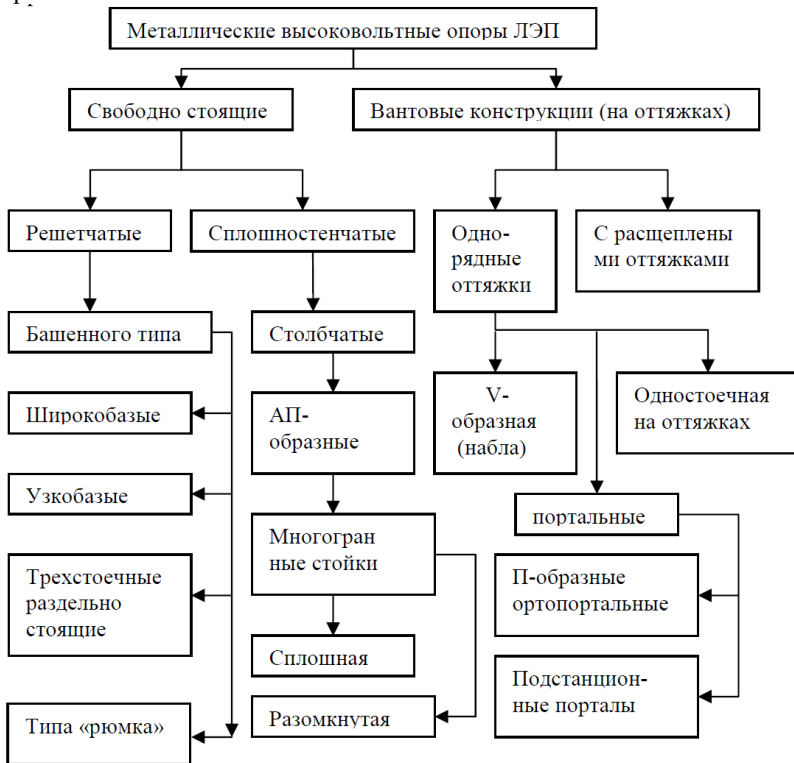


Рис. 1 Классификация существующих конструктивных типов металлических опор ЛЭП

Все рассмотренные конструкции опор ЛЭП имеют как определенные достоинства, так и некоторые недостатки. Поэтому представляется целесообразным выполнение работ, направленных на оптимизацию конструкций опор ЛЭП. При этом, чтобы удовлетворить

требованиям оптимальности, вновь разрабатываемые конструкции должны с одной стороны максимально вобрать в себя достоинства существующих опор различных типов, а с другой стороны, максимально избавиться от присущих существующим опорам недостатков.

Не в последнюю очередь при разработке нужно учитывать так называемую «эстетическую» составляющую.

По уровню «эстетических» характеристик опоры можно разделить на три группы:

- стандартные опоры ЛЭП, разработанные без всяких дополнений, таких абсолютное большинство;
- стандартные опоры с художественными дополнениями. К таким в первую очередь можно отнести опоры, которые имеют нестандартную окраску, предназначенную сделать их более «дружелюбными» по отношению к ландшафту. Например, опоры, окрашенные в цвета украинского флага. Подобное оформление сделало эти опоры более приемлемыми к применению, в частности, в курортной зоне города Славянска, а также в других районах Донецкой и Днепропетровской областей.
- дизайнерские декоративные опоры - самая редкая группа. Эти опоры создаются, как правило, по специальным заказам. Прежде чем построить такую линию электропередачи, организуют специальные дизайнерские конкурсы на лучший проект.

В частности в Исландии компания Landsnet объявила конкурс с целью найти новые конструктивные типы опор ЛЭП. Во-первых, те должны были выигрывать вписываться в ландшафт, во-вторых, «не разбрасываться» электромагнитным излучением, а в-третьих, иметь продолжительный срок эксплуатации и возможно минимальную стоимости. Компания получила 98 предложений от проектировщиков со всего мира.

Все представленные работы можно условно разделить на две группы. Первые незаметно вписываются в ландшафт, идея состоит в том, чтобы «растворить» опору в окружающем пейзаже. Вторые, старались привлечь к опоре максимум внимания.

Архитектурное бюро Arphenotype используя идею второго типа разработало биоморфные опоры ЛЭП переменной высоты. Основной принцип – гармония с окружающей средой в синтезе с функциональностью. Для достижения максимальной прочности и устойчивости, конструкция основана на идее штатива (треноги, которая будет поддерживать общую жесткость формы).

Итальянская Национальная энергокомпания «ENEL» организовала международный конкурс на лучший дизайн новых опор, которые бы органично вписывались в ландшафт и занимали мин отчуждаемых земель. Первое место занял проект фирмы «Foster and Partners». Вместо традиционной схемы, провода здесь группируются в пределах открытой V-формы, созданной соединением двух мачт. В пределах V-формы кабели удерживаются в равностороннем треугольнике.

В США также разработан класс необычных опор. Переходный пункт в Фениксе, административном центре Аризоны, оформлен в виде асимметричного канделябра со свечами, роль которых играют изоляторы. Для его создания применены многогранные стойки.

Первое место в мире по декоративным опорам занимает Финляндия. Здесь создано целое семейство опор ЛЭП в стиле «модерн». При создании таких опор используют три фактора: нестандартную форму опор, нетрадиционное цветовое оформление, наличие цветной подсветки.

Наиболее интересные опоры - переходный пункт выполненный в виде шести арок и окрашенный в оранжевый цвет с внутренней стороны и в серебряный цвет с внешней. Также присутствует общая подсветка стоек и траверс. Подобные опоры размещают у крупных автотрасс на развязках. Но в некоторых случаях финские конструкторы ограничиваются лишь установкой декоративных траверс на стандартную стойку.

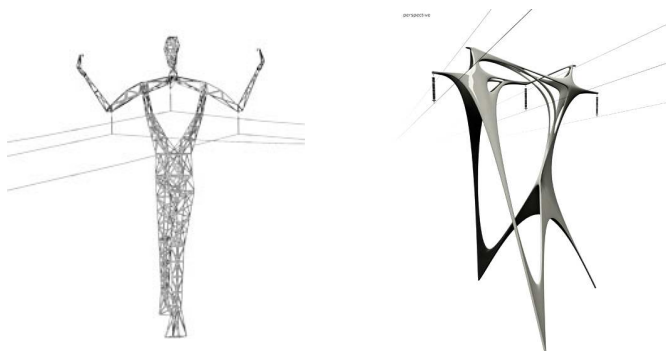


Рис. 2

Основным материалом, используемым для опор, является матричный арамид (полипарафенилентерефталамид, синтетическое волокно высокой механической и термической прочности).



## **Выводы:**

Каждый из рассмотренных основных конструктивных типов опор: башенных отдельно стоящих, на оттяжках, столбчатых многогранных стоек имеет ряд достоинств, и в тоже время определенное количество недостатков. В частности недостатком, присущем всем вышеперечисленным типам является неэстетичный внешний вид конструкций. Так как множество опор расположено в городской черте, вдоль дорог, в парках и заповедниках внешний вид конструкций имеет большое значение для создания комфортной среды обитания человека.

Работы в этом направлении представляются перспективными и востребованными в связи с износом существующих энергетических сетей и необходимости в прокладке новых линий.

### *Список литературы:*

1. И.А. Серебrenников, И.Г. Барг, Б.Л. Ошерov, В.Н. Диденко (ПО "Союзтехэнерго"); Е.В. Горохов, Е.В. Шевченко, В.Н. Королев, С.Н. Шаповалов (МакИСИ); Б.Е. Токарь (ПЭО "Донбассэнерго") Методические указания по оценке технического состояния металлических опор воздушных линий электропередачи и порталов открытых распределительных устройств напряжением 35 кВ и выше. СО 34.21.665 (МУ 34-70-177-87)
2. Вариводов В.Н., Казаков С.Е. и др. Стальные многогранные опоры для распределительных электрических сетей. М., Электро, 2005, №2.
3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 4\_е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1965. – (Нормативный документ Минэнерго СССР).
4. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ». – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М\_во палива та енергетики України, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
5. Горохов Е.В., Муцанов В. Ф., Назим Я. В., Роменский И. В. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций.- Макеевка, 2012
6. Горохов Е. В., Казакевич М. И., Аэродинамика электросетевых конструкций, Донецк, 2000
7. Крюков К. П., Новгородцев Б. П., Конструкции и механический расчет линий электропередач, Ленинград, 1979
8. ДБН В.2.5-16-99 Инженерное оборудование сооружений, внешних сетей