ВЫСОТНЫЕ ОПОРЫ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

АВТОРЫ:

Д.Н. СМАЗНОВ,
ООО «СЕВЗАП НПЦ АРХИМЕТ»

С.В. РОДЧИХИН,
ООО «СЕВЗАП НПЦ АРХИМЕТ»

А.В. МОСКАЛЕВ,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

К.Н. ЗИМИН,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Высотные опоры линии электропередачи имеют ряд преимуществ перед типовыми опорами, в первую очередь — с точки зрения влияния их на окружающую среду. У таких опор ширина санитарно-защитной зоны по влиянию электрического поля на 15–20% меньше. При этом допустимая по условию радиопомех напряженность поля на проводах таких ВЛ примерно на 2 кВ/см ниже, чем у типовых.

Ключевые слова: воздушные линии (ВЛ); высотные опоры ВЛ; сапр транслайн; индивидуальное проектирование высотных опор ВЛ; пропускная способность; электромагнитное излучение.

Высотная опора 220 кВ высотой 96 м в США

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестный факт, что на линиях высокого напряжения применение тех же конструкций опор и фундаментов, что и на ЛЭП более низкого напряжения, приводит к увеличению объема работ, увеличению количества пикетов и соответственно к удорожанию строительства. Экспертами многократно отмечалась перспективность высотных одностоечных и двустоечных опор [1] (см. фото на стр. 46). Поэтому целесообразно индивидуальное проектирование ВЛ под конкретные условия и задачи, с применением более эффективных материалов и современных технологий.

Практические аспекты, обозначенные в данной статье, направлены на:

1. обсуждение реального снижения стоимости строительства километра ВЛ, которого можно достичь за счет индивидуального проектирования и соответственно уменьшения доли удельных инвестиционных расходов;
2. внедрение нового подхода к проектированию и строительству линий электропередачи в рамках создания умной сети.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ОПОР

Разработка указанных типов инновационного оборудования высотных опор должна проводиться совместно с разработкой предложений по объектам пилотного внедрения новых типов опор.

При массовом использовании высотных опор уместна постановка вопроса об организации промышленного изготовления ряда специальных изделий (элементов опор), обеспечивающих большую экономичность и технологичность конструкций опор. Это связано не только с уменьшением расходов стали на опоры, но и с созданием наиболее благоприятных условий для их монтажа с помощью автокранов, а не методом падающей стрелы. Такая задача может быть решена на основе широкого использования легированных сталей (в частности, хром-ванадиевых сталей с пределом текучести 550 МПа).

В настоящее время только для тяжелонагруженных элементов опор применяется низколегированная сталь класса С345. Целевая задача — снижение стоимости опор и фундаментов на единицу протяженности ВЛ — не достигается при таком подходе. Расчеты показали [2], что при массовом применении в конструкциях опор проката из легированных сталей может быть получена значительная экономия металла: от 7 до 15%, а при оптимизации также и самого проката, и конструкций — от 14 до 24%, соответственно. Из результатов следует, что применение методов индивидуального проектирования позволяет уменьшить расход металлоконструкций на 8–12% и удельную стоимость опор с фундаментами на 10–11%, но экономически оправданная высота опоры варьируется в интервале 50–65 м.

Другим серьезным резервом экономии материалов и трудозатрат является отказ от традиционных методов закрепления опор. До настоящего времени оно осуществляется с помощью железобетонных подножников и анкерных плит, которые заделываются в грунт с разрушением его естественной структуры: котлован отрывается на проектную глубину, а после установки подножников и укладки плит засыпается тем же грунтом. Из-за отсутствия качественного уплотнения грунта после засыпки, последний имеет невысокие физико-механические характеристики. В результате объем земляных работ и расход материалов на фундаменты получаются очень большими.

Одним из возможных вариантов снижения затрат на подземную часть опор является переход на винтовые анкера и сваи, поскольку известно, что механические свойства грунтов при их применении используются значительно лучше. Например, при применении винтовых анкеров или свай составного сечения с общей длиной до 20 м земляные работы полностью исключаются, а при работе на грунтах с высокими физико-механическими характеристиками примерно в два раза снижаются расход материалов и трудовые затраты. Однако для широкого применения анкерных фундаментов требуется наличие современной техники для их погружения на объектах строительства.

Возвращаясь к конструкциям высотных опор ВЛ следует отметить, что основные технико-экономические характеристики ВЛ в наибольшей степени определяются конструкцией расщепленного провода и промежуточной опоры на ВЛ при массовом строительстве.

Помимо работ по разрабатываемым вариантам высотных опор воздушных линий следует обязательно нацелиться на увеличение натуральной мощности P до 7 ГВт и более (табл. 1), а также на доведение длины пролета между соседними опорами до 550–600 м. Высотные опоры не выгодно применять на территориях с малоценными землями и в труднопроходимых районах. Исключение могут составлять ВЛ, трасса которых проходит по местности, характеризующейся частыми низовыми или торфяными пожарами, где и следует применять опоры

АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА [10] И ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОТНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ ОПОР НА ПРИМЕРЕ ВЛ 400 КВ С УЧЕТОМ ДИСКОНТИРОВАННЫХ ЗАТРАТ НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЛ

Мощность, MVa	3190 MVa		6380 MVa		6930 MVa	
	две цепи переменного тока, каждый из 1595 MVA		две цепи переменного тока, каждый из 3190 MVA		две цепи переменного тока, каждый из 3465 MVA	
Длина трассы, км	Миллионов у.е. за 1 км**	у.е. за 1 MVa***	Миллионов у.е. за 1 км	у.е. за 1 MVa	Миллионов у.е. за 1 км	у.е. за 1 MVa
3	2,4	750	4,2	660	4,2	610
15	2,3	730	4,1	640	4,1	600
75	2,2	700	4,0	630	4,0	580

** Стоимость строительства за 1 км ВЛ и эксплуатации в течение всего жизненного цикла.
*** Стоимость строительства за 1 МВА ВЛ и эксплуатации в течение всего жизненного цикла.

Таблица 1

с увеличенной высотой подвеса провода.

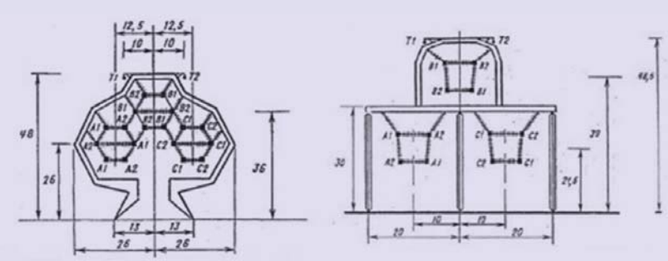
Высокое значение Р может быть получено за счет применения промежуточной опоры в виде портала, охватывающего все три фазы (П/Н геометрия) высотой около 50 м (рис. 1) или одно/двух цепной одностоечной опоры высотой 65 м с V-образной подвеской проводов (рис. 2). Такое конструктивное решение требует больших затрат стали, но позволяет сократить площадь земли, отводимую под опору. Это делает высотную опору перспективным решением для густонаселенных районов.

Если обратиться к опыту СССР, то экономическая целесообразность использования высотных опор и повышения пропускной способности была оценена на ВЛ Сибирь — Казахстан — Урал в 1980-х гг. Оказалось, что удельные капитальные вложения на 1 ГВт дополнительной пропускной способности составляют всего 32–43% соответствующих вложений. Отсюда ясна высокая технико-экономическая эффективность ЛЭП новых высотных конструкций для укрепления межсистемных и межграничных связей.

Представляется перспективным использование одностоечной одно/двух цепной опоры высотой 65 м с V-образной подвеской проводов (рис. 3) для исключения пассивной ширины опоры (портальной), что обусловлено раскачиванием проводов при боковом ветре. Уменьшение пассивной ширины опоры приведет к сокращению влияния ВЛ на экологию, включая минимизацию ширины лесных просек (при внесении изменений в законодательные акты).

Из недостатков такой конструкции следует отметить использование очень длинных гирлянд изоляторов (10–12 м). Для уменьшения высоты опор, которая связана с использованием гирлянд 10–12 м, можно совместить в траверсе

ОПОРЫ ПОРТАЛЬНОГО ТИПА ВЫСОТОЙ ОКОЛО 50 М



а) 500 кВ на свободностоящей опоре охватывающего типа, Рн=4,85 ГВт

б) 500 кВ на свободностоящей промежуточной опоре, Рн=3,2 ГВт

Рис. 1

ВНЕШНИЙ ВИД ОПОР 500 КВ ПРИ ИСПЫТАНИИ

а) двухцепная промежуточная опора высотой 65 м

б) двухцепная анкерно-угловая опора высотой 65 м

Рис. 2

опор механические и изолирующие функции.

На основании результатов анализа эксплуатационных показателей грозоупорности ВЛ 330–750 кВ различных конструкций, можно сказать, что вероятность прорыва точно можно уменьшить, если учитывать геометрию расположения проводов и тросов, т.е. не только угол защиты и высоты подвеса троса, но и превышение троса над проводом, что можно реализовать на одностоечных высотных опорах при индивидуальном проектировании.

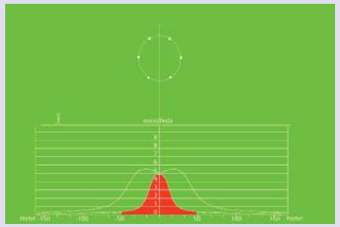
Высотные опоры могут стать драйвером развития в смежных отраслях, например, в изготовлении алюминиевых и композитных проводов и тросов.

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

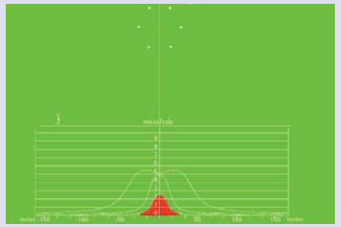
Воздушные линии электропередачи долго считались абсолютно не влияющими на окружающую среду. Но если при сооружении не принимать специальных мер для снижения максимальной напряженности электрического поля под проводами, то последняя может достигнуть величины 25–30 кВ/м. Такая напряженность явно неприемлема. И это является одним из аргументов применения высотных одностоечных опор. На рис. 4 представлено вли-

Рис. 3
Одноцепная опора 500 кВ высотой 65 м

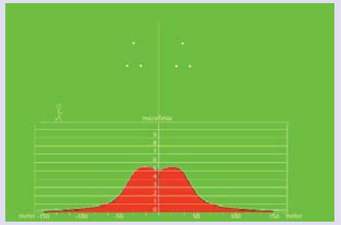
ВЛИЯНИЕ ЭМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНФИГУРАЦИИ И ВЫСОТЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОВОДОВ



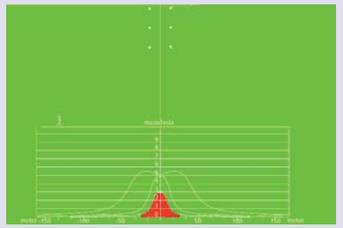
а) Распределение напряжённости электрического поля на расстоянии от центральной оси одноцепной опоры обычной высоты с горизонтальным расположением проводов



б) Распределение напряжённости электрического поля на расстоянии от центральной оси двухцепной опоры обычной высоты с вертикальным расположением проводов



в) Распределение напряжённости электрического поля на расстоянии от центральной оси двухцепной высотной опоры с изолирующими траверсами



г) Распределение напряжённости электрического поля на расстоянии от центральной оси двухцепной высотной опоры

Рис. 4

яние электромагнитного излучения (ЭМИ) в зависимости от высоты и схемы расположения проводов.

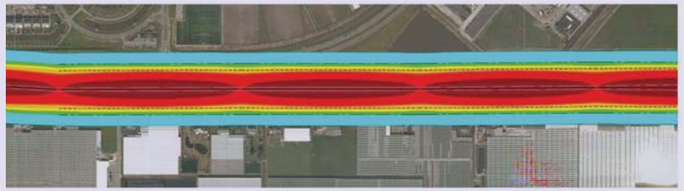
Высотные промежуточные опоры имеют преимущества перед типовыми с точки зрения влияния их на окружающую среду. У таких опор ширина санитарно-защитной зоны по влиянию электрического поля на 15–20% меньше. На рис. 5 представлено моделирование влияние ЭМИ в зависимости от конфигурации индивидуально подобранных высотных опор с целью минимизации его влияния. При этом допустимая по условию радиопомех напряженность поля на проводах таких ВЛ примерно на 2 кВ/см ниже, чем у типовых. Акустические шумы от рассмотренных конструкций ВЛ не превышают допустимых.

СОВМЕСТИМОСТЬ

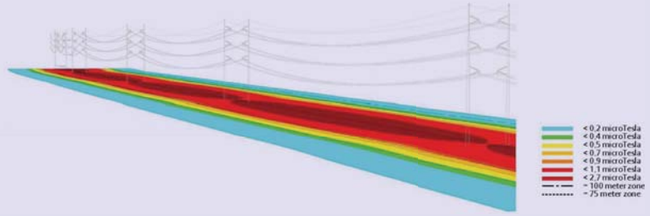
Высотные опоры ВЛ имеют несколько критических проблем:

- сложность транспортировки и монтажа из-за больших размеров конструкций;

МИНИМАЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭМИ (А) ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ВЫБОРЕ КОНФИГУРАЦИИ ВЫСОТНЫХ ОПОР (Б)



а)



б)

Рис. 5

МНОГОЦЕПНЫЕ ВЫСОТНЫЕ ОПОРЫ: А) КИТАЙ; Б) Г. ВОЛОГДА

а)

б)

Рис. 6

- сложность модернизации опор под изменяющиеся условия;
- большая металлоемкость;
- высокая стоимость;
- конструкции опор должны обеспечивать возможность технического обслуживания и ремонта ВЛ под напряжением.

Разрешить все эти проблемы можно заранее при изготовлении на заводах, а не когда опоры собраны на стройплощадке. Фактически все элементы опоры, собранные из облегченных конструкций, висят на каркасе (высотной стойке) как на вешалке — это облегчает последующую модернизацию. Преимущество высотных опор в качестве стойки (скелета) ВЛ заключается в том, что можно предусмотреть при проектировании и строительстве ВЛ подвеску вторых и более цепей, без замены самой конструкции (рис. 6).

Совместимость — это одно из мощных технических преимуществ. Поскольку система ВЛ развивается, в том числе благодаря развитию новых технологий, то очевидно, что со временем данная система потребует внесения корректировок, изменений в соответствии с новыми требованиями и условиями для реализации стратегических модификаций.

Также следует отметить, что на вновь сооружаемых ВЛ электропередачи, которые в соответствии с утвержденными схемами развития должны переводиться в перспективе на более высокий класс напряжения, рекомендуется применять высотные опоры, которые позволят гибко подойти к вопросу последующих реноваций.

На сегодняшний день очевидно, что для сокращения затрат на разработку высотных опор и уменьшения сроков производства, необходимо осуществлять инвестиции в новые, нестандартные техниче-

ские решения, обеспечивающие совместимость существующего оборудования с новыми конструкциями, еще на стадии проектирования.

Чтобы сократить затраты на разработку и ускорить развитие, нужно осуществлять инвестиции в глубокие технические решения для обеспечения широкой совместимости применяемого оборудования, вводя совместимость в процесс проектирования. Функциональная совместимость разных производителей является одним из необходимых требований при применении высотных опор на практике.

МИРОВОЙ АНАЛИЗ

В качестве общих условий и тенденций развития энергосистем можно выделить глобальные вызовы, такие как рост спроса на электрическую энергию, интенсивное развитие городов, рост требований к безопасности, надежности и качеству электроснабжения, влияние природных катаклизмов. Большая группа новых технологий входит в стадию коммерческого освоения, в том числе гибридные сети переменного/постоянного тока. Кроме этого, нарастают давление общественности и трудности прокладки новых линий электропередачи.

Наиболее ощутимыми тенденциями являются гармоничное развитие большой и малой энергетики, освоение технологий ультравысоких напряжений (УСВН). При этом если для Европы задачи направлены на решение экологических проблем, то для Африки — на решение проблем жизнеобеспечения. У России

АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА И СРАВНЕНИЕ СТОИМОСТИ ОПОР ВЛ 220 КВ ВЫСОТНОГО ТИПА ПО ОТНОШЕНИЮ К ЧАСТО ПРИМЕНИМЫМ КОНСТРУКЦИЯМ

	Н-многогранная 1 цепь	Решетчатая, 1 цепь Изол. траверсы	Решетчатая, 1 цепь	Н-многогранная 2 цепи	Решетчатая, 2 цепи	Многогранная, 2 цепи	Многогранная, 2 цепи Изол. траверсы
Пролет, м	300	176	400	225	400	400	225
Кол-во опор	3,3	5,0	2,5	4,4	2,5	2,5	4,4
Высота, м	20	28	24	28	45	45	32
Землеотвод, кв. м	22	6,3	512	28	144	7,1	3,1
Охранная зона, м	32	22	46	20	12,5	10,6	6

СТОИМОСТЬ (ТОЛЬКО КОНСТРУКЦИИ)

1 цепь	3120K/km	3150K/km	3150K/km	—	—	—	—
2 цепи	3236K/km	3300K/km	3300K/km	3250K/km	3576K/km	3470K/km	3560K/km

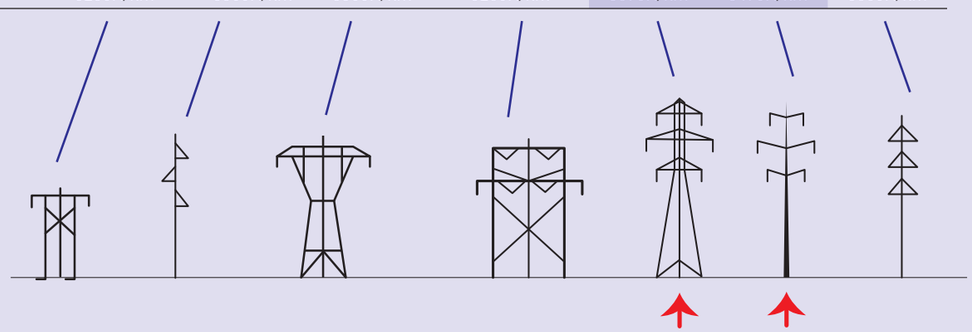


Рис. 7

же на данный момент стоят задачи как решения экологических проблем, так и проблем жизнеобеспечения растущих городов.

Приведем примеры новых решений на базе высотных конструкций:

- опора четырехцепной ВЛ 400 кВ (Индия);
- опытный участок ВЛ 1200 кВ переменного тока (Индия);
- гибридная ВЛ 400 кВ с комбинированным расположением цепей постоянного и переменного тока (Германия, Швейцария, Швеция);
- конфигурация и размеры обычной двухцепной ВЛ и компактной линии 765 кВ с V-образными изолирующими траверсами (США, Швейцария);
- ассиметричная форма расщепленных фаз ВЛ 500 кВ (Бразилия);
- устройства повышения визуальной доступности проводов ВЛ.

В числе направлений анализа и обобщения современного передового опыта наиболее актуальными являются следующие:

- методы реконструкции и реновации ВЛ в целом и отдельных элементов линий;
- обеспечение более высокой надежности и эксплуатационной готовности ВЛ;
- методы обслуживания ВЛ под напряжением;
- анализ экологического влияния ВЛ и методов снижения его негативных последствий.

Зарубежный опыт показывает, что высотные опоры не выделяют как класс конструкций. Разработка, изготовление и строительство ведется в рамках существующих НТД и на базе производств, успешно освоивших технологию без увеличения стоимости. Но на этапе ОТР заказчик проекта обозначает в ТЗ особенности региона строительства и эксплуатации (ограничения по подъездным путям, наличие аэродрома рядом, возможность доставки аварийного резерва и пр.) и регламентирует требования по аналогии с другими высотными конструкциями башенного типа (рис. 7).

Основной тренд из зарубежной практики — это фактически, переход к необслуживаемым опорам или автоматически обслуживаемым дистанционным системам (роботам, мониторингу и пр.), а также учет экологических факторов. Зарубежный подход к высотным опорам предполагает повышение надежности (в связи с отсутствием возможности падения деревьев на провода) и одновременно отказ от расчистки коридора трассы ВЛ, что повышает уровень «озеленности» объекта в глазах общественности и автоматически сокращает издержки на подстригание растительности.

Необходимые регламенты технического обслуживания эстетических и высотных опор с учетом специфики прохождения линий электропередачи разрабатываются индивидуально под каждый проект с привязкой к перспективному плану закупки оборудования, необходимого для эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Высотные опоры с учетом жизненного цикла экономически целесообразны при применении проводов с повышенной пропускной способностью или при увеличении количества цепей опор. Итоговая стоимость строительства по отношению к стоимости жизненного цикла при применении провода АС или одно/двух цепей составляет порядка 60% и для проводов с повышенной пропускной способностью или трех/четырех цепных опор порядка 40%.
2. Итоговая стоимость строительства 1 км ВЛ на высотных опорах по отношению к эксплуатационным издержкам находится на уровне не ниже 65%.

Высотные опоры перспективны, поскольку в отличие от старых конструкций более адаптивны к изменяющимся условиям, таким как появление новых технологий, конструкций, стандартов и требований энергосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сенькин Н.А. Актуальные задачи в проектировании и строительстве ВЛ ЕНЭС: Индивидуальный подход // Энергоэксперт. 2014. № 4.
2. www.cigre.ru/activity/session/session_2014/docs/45...n_results_report.pdf
3. www.cigre.ru/activity/session/session_2014/docs/Shkaptsov_report.pdf
4. www.fsk-ees.ru/upload/docs/ETP_FSK_EES_2014_02_06.pdf
5. Оценка возможных масштабов применения воздушных линий 110–750 кВ повышенной натуральной мощности / Зейлигер А.Н., Кузнецова О.Н., Файбисович Д.Л. Повышение эффективности электрических сетей 110–1150 кВ // Сб. научн. трудов НИИПТ, 1990. С. 6–14.
6. Механический расчет проводов многопролетных больших переходов воздушных линий / Падва И.Г. Повышение эффективности электрических сетей 110–1150 кВ. // Сб. научн. трудов НИИПТ, 1990. С. 127–134.
7. Смазнов Д.Н. Использование САПР «Транслайн» для решения исследовательских задач в области строительного проектирования в электроэнергетике // Электро. 2010. № 1.
8. Смазнов Д.Н. Ландшафтно-совместимая опора ЛЭП для зоны Черноморского побережья // Воздушные линии. 2011. № 4.
9. Смазнов Д.Н. НИОКР: Высотная многогранная опора для прохождения над лесами и заповедными массивами // Воздушные линии. 2011. № 1.
10. Electricity Transmission Costing Study. An Independent Report Endorsed by the Institution of Engineering & Technology. — Parsons Brinckerhoff, 2012.