



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ  
КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

## «УМНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ»

16-20 июня 2014    САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ ОТЕЛЬ «АНГЛЕТЕР»

НИЛКЭС.РФ

# Применение современных конструкций и материалов ВЛ в свете повышения эффективности и качества строительного производства<sup>1</sup>



Александр КУЗЬМИН,  
руководитель УЭО ПС и ЛЭП  
ОАО «ЦИУС ЕЭС»

<sup>1</sup> Доклад был представлен на конференции «Умные воздушные линии. Проектирование и реконструкция», которая состоялась 16–20 июня 2014 года в Санкт-Петербурге.

В соответствии с Положением ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе основными направлениями технической политики при проектировании, строительстве и реконструкции ВЛ являются: обеспечение надёжности и эффективности, снижение стоимости строительства и эксплуатации, сокращение влияния ВЛ на экологию, а также использование передовых, безопасных методов строительства, эксплуатации и ремонта. При этом более половины ВЛ 110–750 кВ находятся в эксплуатации более 25 лет, а более трети — свыше 40 лет. Поэтому упомянутым «Положением...» как одна из основных ставится задача преодоления тенденции старения электрических сетей. Для решения этой задачи необходимо применение современных конструкций и материалов ВЛ, разработка новых технологий, повышение эффективности и качества строительного производства. Надёжность и эффективность электрической сети определяется совокупностью процессов, в которых строительство новых ВЛ и реконструкция существующих являются одними из важнейших подпроцессов.

Надёжность и эффективность ВЛ во многом определяется качеством проектной разработки — правильным выбором технических решений, проработкой технологических вопросов, что обеспечивает минимизацию затрат на сооружение и эксплуатацию при заданном уровне надёжности ВЛ, сокращение сроков строительства. Прежде чем перейти к обзору технологий, необходимо перечислить основные факторы, влияющие на эффективность и качество строительства и реконструкции:

- правильность выбора трассы ВЛ: сопоставление альтернативных вариантов, где основными критериями выбора являются минимальная длина, сведение к минимуму пересечений с природными преградами и инженерными коммуникациями, вопросы землеотвода;
- проработка вопросов землеотвода и землепользования с собственниками земельных участков: технологические и организационные решения вопросов проблемных собственников, использование имеющихся в собственности энергосетевых компаний земельных участков, решение вопросов доставки конструкций и материалов на пикеты;
- проектная проработка технологических вопросов строительства;
- правильный выбор типа опор и фундаментов, соответствующий геологическим, топографическим, климатическим и другим существенным условиям местности, технологическим возможностям подрядных организаций.

Основные требования к конструкциям, материалам и технологиям применительно к вопросам повышения эффективности строительства и реконструкции ВЛ следующие:

- сокращение сроков строительства, применение новых материалов и конструкций, обеспечивающих минимизацию объёма земляных работ, затрат времени на сборку и установку опор и фундаментов;
- применение технологий, обеспечивающих безопасность выполнения работ, сокращение затрат времени на отключения для переустройства и пересечения инженерных сооружений, природных препятствий;

Рис. 1. Двухстоечная промежуточная опора с ветровыми связями 2МП500-1В



- сведение к минимуму экологического ущерба, землеотвода, техническая эстетика и культура строительного производства.

Ниже предлагается обзор современных конструкций, технологий и материалов, применяемых при строительстве и реконструкции ВЛ, в свете их влияния на повышение эффективности и качества строительного производства и, как следствие, повышение надёжности и эффективности ВЛ электропередачи.

Рассмотрим современные конструкции и материалы, их подтвердившиеся и декларируемые преимущества с точки зрения эффективности строительства и реконструкции ВЛ. Прежде всего — стальные многогранные опоры (далее — СМО), объём применения которых в последние 5 лет вырос на порядок и достиг 30–40% общего объёма металлоконструкций ВЛ. Прежде всего следует отметить, что не все многогранные опоры одинаково эффективны — отмечены удачные и неудачные конструкции. Примером наиболее эффективных могут быть одностоечные промежуточные СМО 110–220 кВ, а также двухстоечные промежуточные опоры с ветровыми связями 2МП500-1В (3В, 5В, 7В, рис. 1).

Конструкция последних достаточно хорошо и всесторонне проработана — имеются приспособления для безопасного перемещения по траверсе и встроенный шарнир нижней секции. Это, а также конструктивные особенности позволяют собирать и устанавливать до четырёх опор в день. Получить такой результат применяя решётчатые конструкции невозможно. Примером неудачных конструкций, от применения которых рекомендуется отказаться, являются анкерные СМО всех



**Рис. 2. Многогранная опора, которую доставили на трассу ВЛ 220 кВ СВМ Дзубгинской ТЭС**



классов напряжений, а также отдельные конструкции двухстоечных СМО 330–500 кВ со стойками постоянного сечения и решётчатой траверсой. Категорически не рекомендуется применение многогранных опор в условиях скальных грунтов и заболоченной местности. Следует избегать применения многогранных опор, когда в конкретных геологических условиях следствием их применения является необходимость сооружения сложных в изготовлении фундаментов — из многочисленных элементов, с большим объёмом земляных работ, монтажной сварки. Применяя буронабивные и монолитные фундаменты, следует помнить о сложностях доставки бетона на объект и бетонирования в условиях трассы. Также необходимо учитывать, что применение многогранных опор 330 кВ и выше, как правило, приводит к увеличению стоимости строительства. При этом эффективность строительного производства возрастает — многогранные опоры дают минимум времени на сборку относительно стальных опор альтернативных конструкций. Один из «проблемных» моментов применения СМО — перевозка. Не только очевидный экономический аспект, но и «культурный» (рис. 2 и 3). На рис. 2 — многогранная опора, которую доставили на трассу ВЛ 220 кВ СВМ Дзубгинской ТЭС через полмира. Отсутствуют царапины и механические повреждения. На рис. 3 — вот так до недавнего времени загружали секции СМО для перевозки на одном из отечественных заводов.

Учитывая возрастание общих затрат, многогранные опоры ВЛ 330 кВ и выше не следует рассматривать как массовые, а сле-

дует рассматривать как инструмент для решения специальных задач (необходимость «вписаться» в существующий землеотвод, сокращение времени на устройство пересечений с инженерными сооружениями, повышение устойчивости к расхищению, стеснённые условия, вопросы технической эстетики и пр.).

Несмотря на рост объёмов применения СМО, более половины общего количества применяемых стальных опор составляют и будут составлять в будущем опоры решётчатой конструкции. Хочу ещё раз подчеркнуть необходимость разработки новейшей унификации стальных решётчатых опор 110–500 кВ. Как правило, применяются конструкции, разработанные в прошлом веке, адаптированные под возросшие требования НТД уменьшением тяжёлых, сокращением пролётов и отдельными стихийными случаями проектной адап-

тации (замена отдельных элементов на более прочные). Новые конструкции стальных опор должны отличаться от старых унификаций не только соответствием требованиям действующих нормативных документов, но и не в последнюю очередь учитывать технологические вопросы сборки, установки и транспортировки — т.е. эти опоры должны стать не только более надёжными и экономичными, но и более эффективными при строительстве и реконструкции. При разработке новой серии в приоритетном порядке должны быть продуманы технологические вопросы. Надеюсь, что это всё-таки будут не просто несколько видоизменённые, фрагментарно усиленные разработки прошлых лет. Современные условия строительства и землепользования не оставляют места для применения массовых опор, сложных

**Рис. 3. Так до недавнего времени загружали секции СМО для перевозки на одном из отечественных заводов**



**Рис. 4. Эволюция опор ВЛ 500 кВ за 40 лет. Справа налево: железобетонная, решетчатая на оттяжках, многогранная**



при транспортировке, требующих более трёх дней на сборку и установку (кроме, разумеется, переходных и специальных опор). Необходимо учесть и вопросы защиты от расхищений металлоконструкций. Сейчас это в основном приварка гаек к стержню болтов, что хотя и эффективно, но не технологично и не приветствуется надзорными органами. Считаю, что в рамках разработки новой унификации должен быть также разработан эффективный антивандальный крепёж.

Отдельно необходимо сказать о центрифугированных железобетонных стойках. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе до настоящего времени накладывает ограничения на применение центрифугированного железобетона. Согласно п. 2.4.3 опоры ВЛ 220–750 кВ должны быть стальными. Это ограничение действует с 2006 года и было обосновано сравнительно низким, как утверждалось в отдельных обзорах и аналитических записках, сроком службы железобетонных опор — порядка 30 лет. Между тем как срок службы стальных решётчатых опор принято оценивать в 50 лет, а СМО — в 70. Однако такие оценки срока службы центрифугированного железобетона не имеют под собой никакой серьёзной основы — ни научной, ни практической. На рис. 4 можно увидеть в одном коридоре эволюцию опор ВЛ 500 кВ за последние полвека, справа налево: железобетонные, стальные на оттяжках, многогран-

При этом промежуточные опоры ВЛ 110–500 кВ на основе центрифугированных стоек и по сей день не имеют аналогов по эффективности. Разумеется, любые конструкции имеют свои слабые стороны. Проблемы применения линейного центрифугированного железобетона известны. Это прежде всего трудности транспортировки стоек длиной более 20 метров, проблемы заделки в пробуренный котлован, что приводит к наклонам относительно вертикальной оси. Все эти и другие проблемы возможно преодолеть применением секционированных центрифугированных стоек ново-

го поколения. Разработка этих стоек в рамках соответствующей целевой программы — одна из приоритетных задач. Следует отметить, что производство и применение центрифугированных стоек на железобетонных заводах не прекращалось. Заводы готовы наладить выпуск современных секционированных стоек. Автоматизация производства, налаженная система контроля качества на всех стадиях изготовления — основные факторы обеспечения надёжности и долговечности новых опор.

Применение новых конструкций опор не даст полноценного эффекта без применения современных фундаментов. И если применительно к секционированным центрифугированным железобетонным стойкам вопрос решается достаточно просто и эффективно, то применение многогранных опор приводит к необходимости сложных фундаментных решений. Разумеется,

здесь прежде всего необходимо учитывать результаты геологических изысканий. Наиболее распространённые фундаменты СМО — сваи-оболочки. Наиболее эффективный и технологичный метод — вибропогружение. Как для свай-оболочек, так и для винтовых свай скальные грунты, а равно и включения валунов, являются существенным ограничением для применения. Винтовые сваи — эффективный способ сокращения объёма земляных работ и сроков сооружения фундаментов. При этом не следует применять винтовые сваи (и сваи-оболочки) в скальных грунтах. Результатом неизбежно будет существенное удорожание и увеличение сроков строительства. Винтовые сваи должны иметь полную заводскую готовность, внутреннее заполнение (лучше, если заводское — пенополиуретаном специального состава), заводскую маркировку, маркеры длины и эффективное, прочное к истиранию и соответствующее грунтовым условиям антикоррозийное покрытие.

В последнее время ведутся интенсивные исследования возможностей применения композитных материалов в электроэнергетике. Разработаны промежуточные композитные опоры 110, 220 и 330 кВ. Достигнут определённый технологический уровень, позволяющий получить композитные модульные стойки, устойчивые в известной мере к механическим нагрузкам, низовому пожару и ультрафиолету. И всё же здесь сложно пока говорить о продукте, совершенно готовом к массовому применению — необходимо разработать специальные ТУ, общие технические требования, требования к допускам и отклонениям при приёмке. Необходимо продолжить исследования и разработки. Возможно, именно на основе композитных материалов удастся получить эффективные опоры для реконструкции и временного выноса ВЛ. На сегодняшний день применение импортных композитных стоек сдерживают, кроме перечисленных проблем, неудовлетворительные стоимостные показатели. Применительно к отечественным необходимо завершить исследования и определить нишу для применения. Вряд ли это будет



Рис. 5. Просека. Так она должна выглядеть



массовая опора ВЛ 220 кВ и выше. По-видимому, это 6–35, возможно, 110 кВ, если удастся получить удовлетворительные технико-экономические показатели.

Вопросы применения новых проводов и грозозащитных тросов неразрывно связаны с вопросами конструктивного исполнения опор. В настоящее время на внутреннем рынке представлены многочисленные конструкции новых проводов — компактных (с Z-образными и трапециевидными внешними повивами), высокотемпературных, с композитным сердечником, специальной конструкции. Такие провода позволяют увеличить пропускную способность без увеличения нагрузки на опору, повысить механическую прочность и увеличить пролёты между опорами, снизить нагрузки на опоры, потери электроэнергии. Иногда (при правильном подборе характеристик) удаётся получить несколько эффектов одновременно (удачный пример — ВЛ 220 кВ Афипская — Крымская, где удалось увеличить пропускную способность на 25% и одновременно снизить нагрузку на опоры). Обобщая десятилетний опыт, можно сказать, что задача повышения пропускной способности ВЛ 220 кВ в России стоит крайне редко. По крайней мере до настоящего времени. Получить существенное снижение потерь, позволяющее компенсировать затраты на увеличение стоимости материалов, тоже пока не получается. Пожалуй, единственная ниша применения новых проводов, заслуживающая пристального внимания, — экономия затрат на конструкциях опор и фундаментов вследствие уменьшения нагрузки на опоры.

Прежде всего — на больших переходах. Здесь не все возможности использованы. До настоящего времени никак не учитывается уменьшение гололёдообразования и сопротивления ветру. Очевидно, что новые провода дают этот эффект, но для его учёта в проектной практике необходимо экспериментальное обоснование (задача заводов-изготовителей) и внесение изменений в НТД. Прежде всего — в ПУЭ.

Вопросы устройства просеки несмотря на кажущуюся простоту также заслуживают пристального внимания. Несмотря на достаточно широкое распространение современных валочных комплексов и мульчеров, основными средствами производства по-прежнему продолжают оставаться топор и пила. Неэффективная, нетехнологичная работа по устройству просеки являлась одним из факторов, существенно препятствующих темпам и качеству строительства. Применение современных технологий, современной техники при устройстве просеки станет обязательным требованием закупочной документации и важным критерием выбора подрядной организации (рис. 5).

Всё же необходимо отметить, что в проектной практике последних лет достаточно подробно и глубоко прорабатываются вопросы выбора и обоснования современных конструкций и материалов ВЛ. Но при этом незаслуженно мало уделяется внимания технологическим вопросам. Как правило, соответствующие разделы проектной документации содержат ссылки на типовые технологические карты и требования разработать и

**Рис. 6. Рекомендуемый порядок допуска электросетевых конструкций к применению: разделение процедуры допуска конструкций и установления наличия необходимых производственных условий**



утвердить ППР перед началом работ. Между тем совершенно необходимо на стадии проектирования детально прорабатывать не только вопросы конструктивного исполнения, но и технологические вопросы. Возможно, разработки эффективных, новых технологий работы без снятия напряжения, пересечения без отключения и вывода из работы пересекаемых объектов, работы в стеснённых условиях, в условиях наведённого напряжения должны стать предметом НИОКР. Очевидно, что мы стоим на пороге массовой реконструкции ВЛ 110–750 кВ, построенных в 50–70-е годы прошлого века. Учитывая нарастающие сложности землеотвода, всё труднее будет применить самую простую технологию реконструкции — строительство новой ВЛ по параллельной трассе с последующим демонтажом старой. Совершенно необходимо уже сейчас начать разработку технологий реконструкции строительством новой ВЛ по трассе старой в рамках существующего землеотвода с минимальным временем на отключение действующей линии.

В заключение необходимо сказать несколько слов о порядке допуска новых конструкций и материалов ВЛ к применению. Действующий Порядок проведения аттестации оборудования, материалов и систем в электросетевом комплексе предусматривает необходимость аттестации конструкций и материалов ВЛ. В том числе опор и фундаментов. Применительно к опорам и фундаментам новых конструкций на этот процесс накладывается разработка конструкторской, технологической, сметной документации. Механические испытания про-

водятся в процессе аттестации. Действительность диктует необходимость перехода к системе, при которой процесс разработки и допуска конструкций к применению и процесс аттестации будут разделены (рис. 6).

В проектной документации следует, как правило, применять конструкции, прошедшие регламентированную процедуру допуска к применению в полном объёме (завершена разработка конструкторской документации, технологических карт, программы испытаний, механические испытания, утверждение документации КМ). Неприемлема ситуация, когда проектом предусмотрено применение конструкций, которые проработаны только в виде эскизов и которые на стадии рабочей документации ещё только предстоит разработать и испытать. В современных условиях на это нет времени. Как правило, новые конструкции должны разрабатываться и допускаться к применению в рамках соответствующих целевых программ. В виде исключения — в процессе разработки ПСД. Но и в том, и в другом случаях к моменту начала конкурсных процедур по выбору подрядной организации конструкторские разработки должны быть завершены, конструкторская и технологическая документация разработана в полном объёме, соответствующие конструкции допущены к применению. Конструкторская документация с момента утверждения переходит в собственность заказчика, который передаёт её заводу, выбранному в качестве поставщика в рамках регламентированных конкурсных процедур. 