

**Повышение надёжности воздушных линий электропередачи
и оптимизация их проектирования
при применении проводов нового поколения**

**Л.В. Тимашова, Е.П. Никифоров И. А. Назаров, А.С. Мерзляков
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»**

**М.С. Ермошина, Л.И. Качановская, Е.Д. Константинова, П.И. Романов
ОАО «СевЗап НТЦ»**

**С.В. Колосов*,
ЗАО «Электросетьстройпроект»,**

**В.А.Шкапцов
ГК «ОПТЭН»**

Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Рост потребления электрической энергии, увеличивает актуальность повышения пропускной способности и надёжности воздушных линий электропередачи, разработки и применения новых проектных и строительных решений, использования современных материалов и технологий. Применение новых материалов и оптимизированных проектных решений актуально также вследствие необходимости масштабной реновации сетевой инфраструктуры, срок службы которой превышает 40-50 лет. Социальные и экономические условия выполнения реновации предполагают применение рациональных и эффективных решений на основании технико-экономического сопоставления.

Анализ международного и отечественного передового опыта показывает, что при строительстве новых и реновации действующих воздушных линий электропередачи целесообразно применение проводов нового поколения, обладающих улучшенными механическими и электрическими характеристиками по сравнению с проводами ACSR традиционной конструкции. В настоящем докладе представлен опыт практического применения и разработки проводов нового поколения, электрические и механические характеристики которых обеспечивают возможность достижения таких положительных эффектов, как повышение надёжности и пропускной способности ВЛ, гарантированное обеспечение безопасных габаритов проводов до земли и до пересекаемых объектов. Применение проводов нового поколения, сохраняющих механические свойства в условиях длительной работы при повышенных температурах, особенно эффективно в

сложных аварийных и послеаварийных режимах работы сети, когда по остающимся в работе N-1, N-2 линиям пропускаются необходимые потоки энергии и мощности.

Выполнена серия испытаний образцов вновь разработанного высокотемпературного провода с композитным сердечником. Полученные в результате проведенных исследований данные о механических и электрических характеристиках проводов новых конструкций позволили выполнить ряд перспективных проектов реновации ВЛ.

В докладе приведен успешный опыт практического применения в сетевых предприятиях РФ проводов ACCR, разработанных и выпускаемых компанией 3M (США), провода GTACSR компании J-Power (Japan), проводов ACCC производства компании LAMIFIL (США) и результаты испытаний Российского компактированного HTLS провода с высокопрочным углеродным композитным сердечником (являющегося аналогом провода ACCC). Представлен также ряд разработанных в последние годы проектов больших переходов ВЛ через водные преграды с применением проводов нового поколения — высокотемпературных с повышенной прочностью — марки ACS из стали, плакированной алюминием. Рассмотрены разработанные для достижения возможности использования большей механической прочности этих проводов и обеспечения необходимой надёжности других элементов ВЛ, новые оригинальные конструкции опор, натяжных и поддерживающих зажимов, а также фундаментов. Показано, что при проектировании больших переходов через водные преграды применение высокотемпературных проводов и индивидуальных конструкций опор, фундаментов и арматуры позволяет сократить стоимость строительства перехода на 15-40%.

KEYWORDS

Воздушные линии электропередачи – Надежность – Пропускная способность – Провода – Оптимизация проектирования

1. Основные преимущества проводов нового поколения

Основными требованиями, предъявляемыми к проводам нового поколения [1], являются:

- максимально высокая электропроводность;
- максимально высокая механическая прочность;
- небольшая погонная масса;
- малые температурные удлинения;
- устойчивость к старению и ветровым воздействиям.

Температура традиционных проводов ACSR, при которой достигается так называемая knee point, обычно не превышает 90°C. Известно, что продолжительная (обычно более 2 часов) работа провода при такой температуре приводит к процессу рекристаллизации алюминия, в результате которого он утрачивает свои механические свойства и вся механическая нагрузка воспринимается только стальными сердечниками проводов этого типа. В проводах нового поколения, относящихся к категории высокотемпературных, в качестве материала токопроводящей части используются термостойкие алюминиевые сплавы (TAL, ZTAL и др.), что в зависимости от типа сплава допускает длительную эксплуатацию проводов при температурах 150°C и более.

Токопроводящая часть проводов нового поколения может быть выполнена из нескольких слоев проволок круглой формы с применением технологии компактизации посредством пластического обжатия повивов, либо используются профилированные проволоки. Обе технологии обеспечивают высокий коэффициент заполнения токопроводящей части, благодаря чему компактированные провода в сравнении с проводами традиционной конструкции, при идентичных диаметрах имеют большую площадь сечения токопроводящей части. При одинаковом же сечении токопроводящей части компактированные провода имеют существенно меньший диаметр, более гладкую поверхность и, как следствие, пониженное аэродинамическое сопротивление.

В качестве сердечников в проводах нового поколения применяются стальные оцинкованные или плакированные алюминием проволоки, проволоки из различных сплавов на основе стали, композитные материалы. Сердечник из композитных материалов может представлять собой монолитный стержень круглого сечения или скрученные в прядь элементарные стержни, выполненные из композитного многокомпонентного материала, состоящего из матрицы (полимерной, металлической, углеродной и др.) и армирующих элементов (углеродное волокно, базальтовое волокно, стекловолокно, нитевидные кристаллы, тонкодисперсные частицы и др.), обеспечивающих необходимую механическую прочность. Использование в проводах нового поколения композитного сердечника (провода АССС, АССР) способствует повышению механической прочности, значительному уменьшению массы и коэффициента температурного линейного удлинения, что позволяет, при применении проводов подобной конструкции, обеспечивать уменьшенные стрелы провеса по сравнению с проводами АСР.

2. Успешный опыт применения в РФ проводов нового поколения типа АССР при реконструкции существующих ВЛ

Впервые композитный провод АССР нашел применение в РФ при реконструкции ВЛ 110 кВ Очаково-Одинцово 1 и 2, выполненной в 2008 г. сетевой компанией МОЭСК (г. Москва). Провода этого типа хорошо известны во всём мире [1],[2], поскольку используются уже более 10 лет и выполнено свыше 70 проектов нового строительства, а также реконструкции существующих линий выполнены в Северной и Южной Америке, в разных странах Европы, Азии и Африки. Провод АССР включает наружные токопроводящие проволоки и сплава Al-Zr, сохраняющие свои механические свойства при температурах нагрева до 210⁰ С, и композитный сердечник, выполненный из проволок, включающих алюминий высокой чистоты и продольные волокна оксида алюминия, которые придают материалу высокую прочность. К положительным свойствам композитного сердечника относятся малая масса и низкий коэффициент теплового расширения (и первое и второе в 2 раза меньше, чем у стали).

При реконструкции ВЛ 110 кВ Очаково-Одинцово протяженностью 13.1 км провод АСР 240/32 заменён проводом АССР 477-T16 Hawk сечением 238 мм². Пропускная способность линии увеличена на 98%. Реконструкция выполнена с использованием существующих опор. Благодаря малой погонной массе провода и низкому коэффициенту теплового расширения обеспечено существенное повышение надежности и безопасности реконструированной линии, пересекающей городские кварталы с высокой плотностью населения. При температуре выше 0⁰С габарит до земли заменённого провода АСР 240/32 в ряде пролётов был существенно меньше предписываемых стандартами 6 м, что создавало факторы риска как для населения, так

и для работы сети. После реконструкции безопасный габарит до земли сохраняется во всех эксплуатационных режимах ВЛ.

Похожий проект замены старого провода на АССР был реализован в районе Нагатино-Садовники, г. Москвы, в рамках плановой реконструкции. Заказчиком проекта являлась компания «Центральные Электрические Сети», филиал ОАО «МОЭСК». Работы по проекту выполнены в 2011 г. Плановая реконструкция воздушных линий электропередачи «Черемушки-Южная» проведена с целью увеличения пропускной способности ВЛ до 1000 А в связи с возросшим энергопотреблением района. Решение этой задачи стандартными методами потребовало бы прокладки подземной кабельной линии 110 кВ или строительства новых промежуточных опор воздушных линий 220 или 330 кВ, что вызвало бы ряд проблем в условиях плотной городской застройки Москвы и загруженной дорожной инфраструктуры. Применение провода АССР позволило использовать существующие опоры 110 кВ и повысить пропускную способность участка до требуемых значений с изрядным запасом без проведения дорогостоящих и масштабных строительных работ. Провод АССР обладает малым весом, на 10-15% легче аналогичного по диаметру сталеалюминиевого провода, и легко монтируется на старые опоры, продлевая жизнь существующих конструкций, решая проблему нарушений габаритов и отключений из-за превышения допустимой мощности передаваемой электроэнергии в условиях пиковых нагрузок.

Всего в РФ успешно реализовано семь подобных проектов, базирующихся на использовании АССР: помимо двух указанных выше проектов в г. Москве, проект в Читинской области, выполненный при реконструкции ВЛ 110 кВ Харанорская ГРЭС – подстанция Урга; в г. Иркутске при реконструкции ВЛ 110 кВ Иркутская ГЭС-Южная-Кировская; в г. Пермь [3] при реконструкции ВЛ 110 кВ ТЭЦ 9-ТЭЦ 6 и Пермь – ТЭЦ 6; при реконструкции сетевой инфраструктуры, обеспечивающей выдачу мощности нового блока Вологодской ТЭЦ; при реконструкции сетевого объекта в Кузбассе. Во всех перечисленных случаях пропускная способность линий возросла на величину от 50% до 98%. Благодаря значительному увеличению габаритов проводов до земли и наземных объектов в охранной зоне ВЛ существенно повышена надежность и эксплуатационная готовность реконструированных элементов сетевой инфраструктуры.

3. Успешный опыт применения в РФ проводов нового поколения с зазором типа GTACSR

В 2009 году в сжатые сроки был выполнен важный для МЭС Юга РФ проект реконструкции одноцепной ВЛ 220 кВ «Афипская-Крымская» с целью увеличения её пропускной способности. Технически реконструкция состояла в замене устаревших проводов АCSR 300/56 по всей длине линии, составляющей 73 км. В результате технико-экономического исследования был выбран высокотемпературный провод с зазором типа GTACSR 217/49. По сравнению с АCSR 300/56, этот провод обладает повышенной пропускной способностью и улучшенными механическими характеристиками, в том числе меньшим диаметром и весом.

Меньший диаметр и вес, совместно с особенностью конструкции провода, обеспечивающей незначительное увеличение стрелы при нагреве, позволили несколько снизить нагрузки на опоры. Это дало возможность использовать старые опоры ВЛ с некоторым усилением, при том, что срок их службы которой на момент реконструкции

составлял почти 50 лет. За счет меньшей стрелы провеса и возможности нагрева провода в особых режимах до 150⁰С, максимальная пропускная способность ВЛ была увеличена на 40%. Согласно опыту эксплуатации в течение 4 лет после реконструкции, аварий на этой ВЛ связанных с работой проводов не зафиксировано. Также не были обнаружены TV/Radio interference and audible noise near the line corridor. В результате выполненной реконструкции, обеспечившей существенное снижение числа аварийных отключений ВЛ, значительно возросла надёжность энергоснабжения Юго-Западного района Краснодарского края, включающего большую и социально значимую курортную зону.

4. Провода нового поколения различных типов Российской разработки и их применение на территории РФ

Успешные примеры применения проводов HTLS привели к появлению российских разработок проводов нового поколения различных типов.

В настоящее время разработана и применяется серия высокотемпературных сталеалюминиевых проводов типа АСТ и АСк2у. Провода марки АСТ состоят из стального сердечника и проволок из алюминиевого термостойкого Al-Zr сплава, скрученных концентрическими повивами поверх стального сердечника. В компактированных проводах марки АСк2у используются алюминиевые проволоки трапецеидальной формы, сердечник состоит из высокопрочных стальных проволок с цинкоалюминиевым покрытием. Применение высокопрочной стальной проволоки позволяет увеличить механическую прочность провода и за счёт этого уменьшить стрелу провеса провода при реконструкции существующих ВЛ, уменьшить вероятность обрыва проводов в результате стихийных природных воздействий. Применение проводов АСк2у при сооружении новых ВЛ приводит к уменьшению числа промежуточных опор за счёт увеличения расстояния между ними.

Провода марки АСк2у применены на трёх ВЛ 35-110 кВ, эксплуатируемых ОАО «Кировэнерго», а также на ВЛ 500 кВ Донская АЭС – Борино (Елецкая).

В РФ в настоящее время также разрабатываются высокотемпературные провода с малой стрелой провеса (HTLS) типа АССС. Основной материал композитного сердечника (рис.1а) — высокопрочное углеродное волокно и эпоксидное связующее горячего отверждения. Для защиты несущей углепластиковой части композитного сердечника от металлической электропроводящей части провода и возникновения явления гальванической коррозии используется внешняя неэлектропроводящая (изолирующая) оболочка — стеклопластик на основе однонаправленных стеклянных волокон. Токопроводящая часть провода состоит из профилированных проволок трапецеидального сечения (рис.1б) и имеет коэффициент заполнения, близкий к 0,95. Материал — высокотемпературный алюминиевый сплав ZTAL.



Рисунок 1. Композитный сердечник (а) и провод HTLS типа АССС (б).

5. Результаты испытаний разработанного в России HTLS провода.

Для определения характеристик провода была выполнена серия испытаний. Во время испытаний использовалась специально разработанная линейная арматура: натяжные, соединительные и поддерживающие зажимы.

Провод АКТ 400/65 был подвергнут следующим испытаниям:

- ✓ Определение параметров конструкции;
- ✓ Определение прочности и деформации токопроводящих проволок провода до и после нагрева до температуры 150 °С с последующим охлаждением;
- ✓ Испытание на растяжение по определению:
 - модуля упругости композитного сердечника;
 - модуля упругости токопроводящего сплава;
 - модулей упругости провода;
 - напряжения при 1% удлинении сердечника;
 - предела прочности композитного сердечника на разрыв.
- ✓ Испытание на вытяжку по определению:
 - деформации ползучести провода при воздействии постоянной нагрузки в течение 1000 часов, равной 45% от разрывной прочности провода;
 - конечного модуля упругости (вытяжки);
- ✓ Определение коэффициента температурного удлинения композитного сердечника.
- ✓ Определение коэффициента температурного удлинения провода.
- ✓ Определение электрического сопротивления провода постоянному току при температурах (20 ÷ 150) °С.
- ✓ Испытание на стойкость системы «провод – поддерживающий зажим» к воздействию 100 млн. циклов колебаний эоловой вибрации.
- ✓ Испытание на стойкость системы «провод – поддерживающий зажим» к воздействию 100 тыс. циклов колебаний пляски (галлопирование).
- ✓ Определение механической прочности (рис. 2) на разрыв (прочность заделки провода в системе):
 - «провод – натяжной зажим»;
 - «провод – соединительный зажим».
 - Определение качества электрического контакта системы «провод-зажим» после термического старения (500 циклов нагрева-охлаждения).
- ✓ Определение предельных токовых нагрузок с учетом солнечной радиации, температуры окружающего воздуха, скорости и направления ветра по условиям сохранения механической прочности проводов и обеспечения сохранения наименьших допустимых вертикальных расстояний от проводов ВЛ до поверхности земли и/или до пересекаемых объектов.



Рисунок 2. Провод АКТ 400/65 смонтированный в натяжных зажимах на разрывной машине.

Результаты испытаний провода АКГ 400/65 в сравнении с проводом АСР 400/64 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика провода	АСР 400/64	HTLS	Результат сопоставления основных характеристик, % ¹	
	значение	значение		
Сечение токопроводящей части, мм ²	390	390,4	+0,1%	
Сечение сердечника, мм ²	64	65	+1,5%	
Диаметр провода, мм	27,7	24,7	-10,8%	
Механическая прочность на разрыв, Н	129183	170233	+31,8%	
Масса 1 км провода, кг	1572	1204	-23,4%	
Предельная токовая нагрузка при допустимой температуре, А:				
	70°С ²	860	1090	+26,7%
	90°С ³	1053	1310	+24,4%
150°С ⁴	-	1802	+71,1% ⁵	
Длина пролета при одинаковой стреле провеса провода, м	350	435	+11,5%	
Кол-во опор на 5 км ВЛ	16	13	-18,7%	
Температурный коэффициент линейного удлинения сердечника, 10 ⁻⁶ 1/°С	12	1,95	-83,7%	
Температурный коэффициент линейного удлинения провода, 10 ⁻⁶ 1/°С	19,2	17,2	-10,4%	
Стрела провеса провода при температуре воздуха -5 °С в III районе по ветру и гололеду в пролете, м:				
	350	8,92	5,74	-35,9%
	400	11,72	7,51	
	450	14,84	9,50	
Потери на перемагничивание при экономической плотности тока, % от основных тепловых потерь	5,1	отсутствуют	-	
Начальная напряженность электрического поля на поверхности проводов, соответствующая появлению общей короны в условиях хорошей погоды, Е ₀ , кВ/см	31,73	37,3	+17,6%	

¹ Процент увеличения/уменьшения значений параметров по отношению к сталеалюминевому проводу АСР 400/64

² при температуре воздуха 25°С и скорости ветра 1 м/с

³ длительно допустимая температура провода

⁴ максимальная длительно допустимая температура провода HTLS

⁵ по отношению к предельной токовой нагрузке АС 400/64 при 90°С

По результатам проведённых испытаний провода АКТ 400/65 установлено, что провода с композитным сердечником по сравнению с проводом АCSR одинакового сечения токопроводящей части имеют следующие преимущества:

- уменьшение внешнего диаметра провода на ~10%;
- снижение массы провода на ~ 19,5%;
- повышение разрывной прочности на ~ 40%;
- снижение коэффициента линейного удлинения на ~ 15%;
- увеличение длины пролета при одинаковой стреле провеса на ~ 11,5%;
- снижение количества промежуточных опор на 10 км линии на ~ 14%;
- увеличение предельной токовой нагрузки (повышение пропускной способности) на ~ 71%.

Опытная эксплуатация и сравнение технико-экономических показателей вновь разработанного HTLS провода позволят более глубоко выявить все его преимущества по сравнению с проводами АCSR традиционного типа.

6. Применение проводов нового поколения на больших переходах ВЛ через водные преграды

За последние годы разработан ряд проектов больших переходов ВЛ через водные преграды с применением проводов нового поколения – высокотемпературных с повышенной прочностью марки АСS из стали, плакированной алюминием.

Для возможности использования большей механической прочности этих проводов требуется большая прочность воспринимающих нагрузки от проводов элементов ВЛ — конструкций опор, натяжных и поддерживающих зажимов. Разработка индивидуальных конструкций опор и натяжных зажимов, рассчитанных на восприятие увеличенных нагрузок, позволяет использовать возможности новых проводов по максимуму, что и приводит к экономической выгоде от их применения [1].

6.1 Переход ВЛ 220 кВ Пермская ГРЭС-Соболи через Камское водохранилище.

6.1.1 Провода и тросы, опоры

Высокотемпературный высокопрочный провод впервые был применён в 2009 году при проектировании двухцепного перехода ВЛ 220 кВ Пермская ГРЭС-Соболи через Камское водохранилище общей протяжённостью 2080 метров.

На этапе разработки основных технических решений было рассмотрено два варианта выполнения перехода [4] (рис.3).

Первый — с использованием сталеалюминиевого провода марки АСRS 500/336. При заданных климатических условиях (II район по ветру, III район по гололёду) оптимальной была выбрана схема перехода К-А-А-К с применением переходных трубчатых опор индивидуальной разработки АТ 133 и концевых опор К330-2+5К. Высота опоры АТ 133 составляет 154 м, высота подвеса нижнего провода — 133 м. Тросы — ОКГТ и С300.

Второй рассмотренный вариант предполагал использование высокотемпературного высокопрочного провода. Специально для условий данного перехода был разработан провод АСS 521-А20SA, что позволило выполнить переход по схеме К-II-II-К с применением опор ПП330-2/79,5 из уголкового и листового проката и концевых опор

КЗ30-2+5К. Высота опоры ППЗ30-2/79,5 составила 104,4 м, высота подвеса нижнего провода — 75,2 м. Грозозащитные тросы — Stalum 510 2С со встроенным оптическим кабелем и ACS 521-A20SA без оптики.

Данные для сравнительного анализа двух рассмотренных вариантов приведены в таблице 2, схемы перехода для обоих вариантов приведены на рисунке 3.

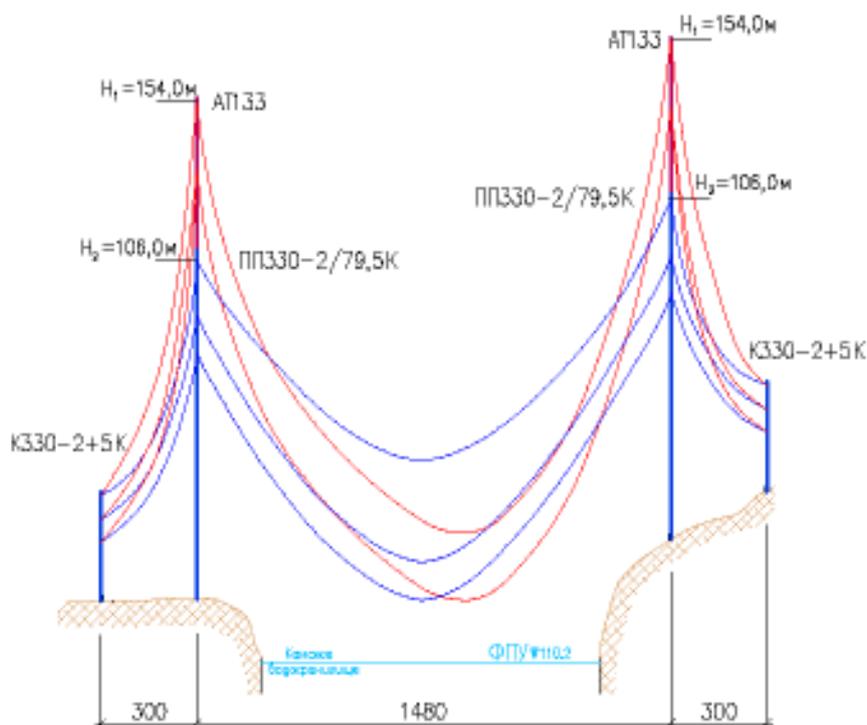


Рисунок 3. Схемы перехода ВЛ 220 кВ Пермская ГРЭС – Соболи-1,2 через Камское водохранилище при применении провода АCSR500/336 (красный цвет) и ACS 521-A20SA (синий цвет).

Таблица 2. Характеристики перехода ВЛ 220 кВ через Камское водохранилище.

Наименование	Ед. изм.	П Р О В О Д А	
		СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫЙ	ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ
МАРКА ПРОВОДА		ACSR 500/336	TACSR/ACS 521-A20SA
ДИАМЕТР ПРОВОДА	мм	37.5	29.7
СТРЕЛА ПРОВЕСА ПРОВОДА	м	145.6	86
ДЛИНА ПРОВОДА НА ПЕРЕХОДЕ	м	6 x 2123.7	6 x 2096
ВЕС ПРОВОДА НА ПЕРЕХОДЕ	т	51.03	44.2
СТОИМОСТЬ 1 т ПРОВОДА	$\frac{\text{тыс.руб}}{\text{т}}$	153.0	248.0
ШИФР ОПОРЫ		AT133 (AT155-22)	ПП300-2/79.5K
ВЫСОТА ДО НИЖНЕЙ ТРАВЕРСЫ	м	133	79.5
ОБЩАЯ ВЫСОТА ОПОРЫ	м	154	106.0
МАССА ОПОРЫ	т	410.0	154.4

6.1.2 Устройство фундаментов и монтаж опор для большого воздушного перехода через Камское водохранилище

Для закрепления опор перехода были разработаны монолитные железобетонные фундаменты индивидуального изготовления (рис. 4). Для закрепления переходных опор на левом и правом берегах Камского водохранилища применены монолитные фундаменты одинаковой конструкции по четыре фундамента под каждую переходную опору и по два под каждую стойку концевых опор. Каждый фундамент представляет собой монолитную железобетонную столбчатую трёхступенчатую конструкцию, габаритные размеры фундамента переходной опоры — 7,2 м x 7,2 м x 4,8 м. Для устройства котлована на высоком берегу под щебёночную подготовку монолитных фундаментов применен нетканый геотекстильный материал, укладываемый на грунт основания — суглинок мягкопластичный, для предотвращения вымывания щебня. При строительстве перехода в 2010 году опоры были смонтированы методом наращивания (рис. 5, 6).



Рисунок 4. Монолитный железобетонный фундамент для закрепления опоры перехода ВЛ 220 кВ Пермская ГРЭС – Соболи-1,2 через Камское водохранилище.



Рисунок 5. Монтаж опоры перехода ВЛ 220 кВ Пермская ГРЭС – Соболи-1,2 через Камское водохранилище.



Рисунок 6. Опора ПП330-2/79,5К на правом берегу перехода через Камское водохранилище.

6.1.3 Арматура

Для крепления проводов и тросов была предложена конструкция натяжного подвеса (НП) (рис.7), основу которой составляет силовая часть в виде двух прядей спирального типа с взаимно противоположным направлением навивки. Силовые пряди монтируются или непосредственно на сердечнике одна на другую, или на предварительно смонтированном протекторе и посредством стандартной сцепной арматуры крепятся к опоре. Параметры силовых прядей НП рассчитаны таким образом, что при нагружении растягивающим усилием (до 800 кН) возникающие в них моменты кручения компенсируют друг друга.



Рисунок 7. Смонтированный на концевой опоре натяжной подвес спирального типа с двумя силовыми прядями.

6.1.4 Достигнутый экономический эффект

При расчёте сметной стоимости строительства перехода ВЛ через Камское водохранилище получены следующие результаты: при использовании

сталеалюминиевого провода ACSR сметная стоимость строительства в ценах 2009 года составляет 192,70 млн. руб., при использовании высокотемпературного провода — 159,26 млн. руб.

Оптимизация конструкций за счёт применения высокотемпературного провода позволила уменьшить высоту опоры перехода на 50 метров, снизить её массу с 410 до 155 т и сократить сметную стоимость строительства на 17% по сравнению с применением провода ACSR.

6.2 Другие проекты больших переходов

В 2009 году для перехода ВЛ 220 кВ Печорская ГРЭС – Ухта – Микунь через р. Печора были разработаны переходные опоры из труб и фундаменты к ним из винтовых свай с металлическими ростверками и насыпной банкеткой. Применение высокотемпературного провода ACS 548-A20SA позволило уменьшить высоту переходных опор со 115 до 78 метров, снизить массу каждой опоры перехода с 186 до 135 т, что привело к сокращению сметной стоимости строительства на 15% по сравнению с применением сталеалюминиевого провода традиционной конструкции.

В 2011 году на спецпереходе ВЛ Балаково 1,2 через р. Волга (четыре одноцепных и один двухцепный) применение высокотемпературного провода ACS 521-A20SA позволило уменьшить высоту переходных опор со 165 до 125 метров, сметная стоимость строительства была сокращена на 14%. Для различных грунтовых условий на правом и левом берегу р. Волга, а также острова Пустынный были разработаны сборные железобетонные фундаменты из элементов заводского изготовления и фундаменты из винтовых свай с монолитным ростверком.

В 2012 году для большого перехода ВЛ 500 кВ Советско-Соснинская-Парабель через р. Обь применение высокотемпературного провода TACSR/ACS 146-TAL/519-A20SA позволило уменьшить высоту переходных опор с 220 до 180 метров. Разработанные опоры были закреплены в условиях болота с помощью монолитных железобетонных фундаментов с установкой межфундаментного ригеля из труб и выполнением защиты от ледохода.

7. Выводы

При строительстве новых и реконструкции действующих воздушных линий электропередачи применение проводов нового поколения, обладающих улучшенными механическими и электрическими характеристиками по сравнению с проводами ACSR традиционной конструкции, специальной натяжной, соединительной и поддерживающей арматуры способствует повышению пропускной способности, повышению надежности энергоснабжения и снижению капиталовложений в расчете на 1 МВт передаваемой мощности.

Применение проводов нового поколения на больших переходах с учётом оптимизации конструкций опор перехода и фундаментов к ним позволяют существенно сократить стоимость строительства переходов (на 15-40%) за счёт уменьшения материалоёмкости конструкций опор и фундаментов, а также сокращения трудозатрат на их изготовление и монтаж.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Working Group B2.26 CIGRE. “Guide for qualifying high temperature conductors for use on overhead transmission lines” (Technical Brochure nr 426, August 2010).
- [2] R.Kotov “Electric Power: two jubilees” (Trends, Events, Markets. Federal business journal, №5, May 2012).
- [3] A.Pravkov “Future - for new technologies” (Electrical energy, № 1, January-February 2013).
- [4] R.C.R. de Mendez, J.D. Riera, L.F.F. Miguel, J. Kaminski Jr, L.F.F. Miguel, J.B.G. Ferreira da Silva “On Modeling the Dynamic Response of the 190m-high Tower for the Crossing of Trombetas River in the Amazon Region” (CIGRE Session 2012, B2-212).