

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИ ОБЖАТЫХ
СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ (АСВП), ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
(АСВТ) ПРОВОДОВ, ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ (ТУ062-2008) И ОКГТ(ТУ113-2013)
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЛ.

Уважаемые коллеги!

На основании рассмотрения карт климатического районирования территории РФ (ПУЭ 7,гл. 2.5) многие районы нашей страны находятся в зоне самых неблагоприятных климатических воздействий по их величине и суммарному эффекту (особенно ЮГ, Дальний Восток, Крайний Север). Более, чем 50% территории РФ составляют районы по давлению ветра, гололеду – III и выше, по продолжительности гроз - 40 часов и выше, встречаются протяженные зоны с частой и интенсивной пляской. Предлагаемые нами изделия, как раз наиболее эффективно должны использоваться в таких экстремальных условиях, они специально для них создавались.

Тем не менее, основные задачи проектирования являются общими для всех ВЛ:

1. Высокая величина пропускной способности;
2. Снижение потерь при передаче электрической энергии от источника к потребителю;
3. Высокая надежность работы в конкретных регионах размещения в течение заданного срока эксплуатации при воздействии всего спектра реальных нагрузок (гололед, ветер, грозовые разряды, короткое замыкание, агрессивность среды).

Решение всех перечисленных выше основных задач должно осуществляться с минимальными затратами и в соответствии с действующими нормативными требованиями (ПУЭ изд. 7, ТТ к отдельным видам применяемого оборудования).

К большому сожалению, вплоть до настоящего времени не существует единых технических требований и правил для использования проводов, отличных от АС проводов по ГОСТ 839-80. Все пункты ПУЭ изд. 7 относятся только к проводам этого типа, а также к грозотросам по ГОСТ 3063-80 (С, ТК 35; С, ТК 50; С, ТК70). В 2008 году ОАО «ФСК ЕЭС» были выпущены технические требования к грозотросам и ОКГТ СТО 56947007-29.060.50.015-2008, но их первая редакция по значению основополагающих требований надежности и работоспособности противоречила не только ПУЭ, но и не соответствовала здравому смыслу. Например, там было написано, что максимально допустимую нагрузку (МДРН) и среднеэксплуатационную (СЭН) должен задавать производитель, хотя их уровень однозначно определяет ПУЭ (табл. 2.5.7), а допустимая потеря механической прочности от одного удара молнии может составлять до 25% от механической прочности (МПР) грозотроса (п. 3.7). Указанная величина потерь прочности по умолчанию

распространялась также на вибрационные испытания (эоловая вибрация и пляска), что приводило к необходимости под каждый вид испытаний делать отдельный образец, а суммарный коэффициент запаса прочности принимаемого изделия получался меньше единицы. Конечно при этом совершенно законный ЗАК на применение могло получать и получало практически любое канатное изделие. Даже канаты по ГОСТ 3062, 3063, запрещенные к применению письмом ФСК ЕЭС №ЧА/29/57 от 22.06.2009 г., успешно бы прошли такие испытания. По проводам ситуация еще хуже. Все производители новых инновационных конструкций вынуждены подстраиваться под существующие нормы АС проводов по ГОСТ 839-80 и действующих для них правил, что иногда создает непроходимые, не оправданные технически, запреты на применение прогрессивных технических решений.

В этой связи нам кажется, что создание единых технических требований для проводов и грозотросов, новая редакция ПУЭ должны в ближайшее время исправить ситуацию, связанную с отсутствием нормативной базы для внедрения инновационных решений в сфере применения новых конструкций проводов и грозотросов с учетом использования всех их преимуществ.

Коллектив компании ООО «Энергосервис» совместно с заводом производителем российско-итальянским предприятием АО «Редаелли ССМ» предлагает к применению на ВЛ следующие изделия: провода высокопрочные (АСВП), провода высокотемпературные (АСВТ), грозотроса для защиты ВЛ от прямых ударов молнии (ТУ062-2008) и ОКГТ оптический кабель, встроенный в грозотрос (ТУ113-2013).

Подробно об особенностях конструкции, технологии, испытаниях грозотросов рассказано в литературе [1 - 6], поэтому перечислим здесь только их подтвержденные испытаниями основные преимущества:

1. Абсолютная стойкость к ударам молнии максимальной мощности.
2. Стойкость к последовательному циклу воздействий: удары молнии – вибрационные нагрузки (эоловая вибрация, пляска).
3. Повышенная механическая прочность позволяет использовать троса значительно меньших диаметров и веса в одинаковых по длине пролетах ВЛ.
4. Высокая стойкость конструкции к сочетанию нагрузок растяжение - изгиб (тяжение - эоловая вибрация). Обеспечивается применением авторской технологии сочетания линейной свивки проволок и пластической деформации изделия в целом
5. Максимальная коррозионная стойкость Zn покрытий группы ОЖ +5%, нанесенных с использованием единственного в РФ агрегата оцинкования,

обеспечивающего идеальную адгезию, заданную максимальную толщину и равномерность Zn слоев гарантировано на всех проволоках конструкции.

6. Предельный для канатных витых изделий модуль линейной упругости E. Обеспечивается применением авторской технологии пластической деформации изделия в целом. Позволяет за счет снижения линейных удлинений, уменьшать величину стрел провеса при воздействии предельно низких температур и максимальных значений толщины стенки гололеда.

7. Минимальный допуск на значение МПР и веса изделия (менее 1%) обеспечивается разработанной технологией изготовления – финишной пластической деформацией изделия в целом и фактической его калибровкой.

По результатам всех проведенных испытаний на образцах отсутствовали повреждения и разрушения, а МПР не изменялась от заданного производителем значения.

Всеми перечисленными выше преимуществами обладают также наши ОКГТ (ТУ113-2013). Отличие в конструкции заключается в замене центральной проволоки на оптический модуль (ОМ) с разным количеством оптических волокон (ОВ), размещенных внутри модуля в заливочном геле.

В настоящее время положительный опыт эксплуатационного применения грозотросов ТУ062-2008 составляет 6 лет, на многие новые ВЛ от 35 кВ до 750 кВ в течение этого времени навешано более 13000 км. Тем не менее, при реконструкции старых ВЛ, даже при наличии фактического запрещения в качестве грозотроса зачастую используют не имеющие аттестации обычные стальные канаты по ГОС 3062, 3063. Аргументацией для этого служит то, что «старые» опоры не выдерживают вес и тяжения наших изделий. Если отбросить факт вопиющего нарушения основного технического регламента ОАО «Россети» и рассмотреть техническую сторону проблемы, то можно прийти к следующим выводам:

1. Максимальное превышение веса грозотросов по ТУ062-2008 над стальными канатами одинаковых номинальных диаметров приблизительно составляет 11%. Допуск на диаметр грозотросов, согласно п.6 упомянутых выше преимуществ менее 1%, поэтому можно считать, что фактические значения, диаметров, сечения, веса и разрывного усилия соответствуют номиналу. У стальных канатов картина совершенно иная: по техническим требованиям ГОСТ 3241 максимальный допуск на диаметр составляет +6%, это значит, что сечение и вес изделия могут быть на самом деле больше на 6% от номинала, и фактическая суммарная разница в весе изделий составит всего 5%. Суммарно такое превышение на 1 метр распределенной нагрузки от веса получается 20-30 грамм. Следовательно, этой величиной можно пренебречь, как малой величиной существенно

более высокого порядка в отношении значений других вертикальных нагрузок, например, гололеда.

2. Тяжение, безусловно, является более веским аргументом, но решение этого вопроса однозначно вытекает из рассмотренного ниже примера расчета напряжений и стрел провеса для ВЛ 500 кВ Енисей – Итатская. Заданное проектом ограничение усилия на опоры всего 6118 даН., что составляет для грозотроса ТУ062-2008 диаметр 11,0 мм всего 44% МПР. Исходные данные для расчета:

$t_{-}, ^\circ\text{C}$	$t_{г}, ^\circ\text{C}$	$t_{з}, ^\circ\text{C}$	$t_{+}, ^\circ\text{C}$	$t_{гр}, ^\circ\text{C}$	$b_{з}=b_{y}, \text{мм}$	$q_{4}, \text{даН/мм}^2$	$q_{5}, \text{даН/мм}^2$	$H_{пр}, \text{м}$	$f_{габ}, \text{м}$
-60	-5,0	-0,8	38	15	20	80	18	17,7	14

Режимы изменения напряжений и стрел провеса для определенного расчетом габаритного пролета стального каната по 11.0-ГОСТ 3063 равного 346,2 м, значения коэффициентов климатических нагрузок стандартные и максимально допустимая т-ра нагрева 90⁰С.

Номер режима	Температура	Ветер	Гололед, мм	Уд. Нагрузка
1	-5,0	q5	20	Υ7
2	-5,0	q4=0	20	Υ3
3	-5,0	80	0	Υ6
4	-0,8	q4=0	0	Υ1
5	15	q6=0,06*q4	0	Υ9
6	-60	q4=0	0	Υ1
7	38	q4=0	0	Υ1
8	70	q4=0	0	Υ1
9	90	q4=0	0	Υ1
10	150	q4=0	0	Υ1
11	210	q4=0	0	Υ1

Данные расчета однозначно показывают, что при существенных ограничениях усилий от тяжения проводов на опоры навеска грозотросов по ТУ062-2008 с уменьшенными диаметрами, по сравнению с традиционно используемыми стальными канатами по ГОСТ 3062,3063, позволяет даже снизить стрелы провеса грозотроса. Для рассматриваемой в примере ВЛ использование грозотроса ТУ062-2008 диаметром 8.0 мм вместо стального каната по ГОСТ 3063 диаметром 11,0 мм могло бы позволить увеличить длину габаритного пролета на 8%.

Для тех же исходных данных и режимов совершенно иная картина получается, если усилия на опоры выше или равно по значению 13965 даН (МПР грозотроса ТУ062-2008).

Значение габаритного пролета стального каната 11,0 по ГОСТ 3063 уже составило 469 м, но заменить этот стальной канат по ГОСТ 3063 возможно в этом габаритном

пролете нашим грозотросом ТУ062-2008 диаметром 9,2 мм с разрывной группой 190 кг/мм².

Конечно, максимальный положительный эффект, увеличение расстояния между опорами до хотя бы приблизительно габаритных значений длины пролетов проводов и грозотросов вместе является наиболее актуальной задачей нового строительства ВЛ. Для решения этой проблемы необходим комплексный подход к проектированию линий. Для предлагаемых нами изделий это означает безусловное использования проводов нашей конструкции в системе с нашими же грозотросами. В приведенном выше примере в качестве основного провода был выбран провод АС 500/64 в расчетный пролет которого уже вписывали наш высокопрочный грозотрос.

Ниже приведен расчет для ВЛ 110 кВ габаритного пролета провода АСВП 128/37 в сравнении с проводами приблизительно одинаковых сечений и диаметров: АС 120/27; ТАСР 120; АССР_297-Т16. Допустимая нагрузка на опоры 7264 даН. Здесь значения напряжений и стрел провеса всех остальных проводов приведены в габаритном пролете нашего провода.

$t_-, ^\circ\text{C}$	$t_r, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_+, ^\circ\text{C}$	$t_{гр}, ^\circ\text{C}$	$b_3=b_y, \text{мм}$	$q_4, \text{даН/мм}^2$	$q_5, \text{даН/мм}^2$	$H_{пр}, \text{м}$	$f_{габ}, \text{м}$
-55	-10,0	-10	35	20	20	80	20	9,9	11,7

Режимы изменения напряжений и стрел провеса для определенного расчетом габаритного пролета провода АСВП 128/37 равного 337,8 м, значения коэффициентов климатических нагрузок стандартные и максимально допустимая т-ра нагрева 90⁰С.

Номер режима	Температура	Ветер	Гололед, мм	Уд. Нагрузка
1	-10,0	q5	20	У7
2	-10,0	q4=0	20	У3
3	-10,0	80	0	У6
4	-10,0	q4=0	0	У1
5	15	q6=0,06*q4	0	У9
6	-55	q4=0	0	У1
7	35	q4=0	0	У1
8	70	q4=0	0	У1
9	90	q4=0	0	У1
10	150	q4=0	0	У1
11	210	q4=0	0	У1

Значение габаритного пролета применением провода АСВП 128/37 удалось увеличить в приведенном примере по сравнению с проводом АС 120/27 на 27%. Интересно, что при большем к-ве стали (соотношение 3,45 по отношению к 4,3 у АС 120/27) наш провод имеет примерно тот же диаметр, а его проводимость на 10% выше. Похожие результаты можно получить сравнением наших проводов АСВП и АСВТ с

конструктивным исполнением I и II по СТО ТУ 120 -2013 года с аналогичными проводами АС с соотношением сечений Al к стали равным 4,3. Таким образом, наши провода могут быть рекомендованы к применению на замену упомянутым проводам АС проводов для районов по гололеду ветру начиная с III, так как заданные проектами стрелы провеса при использовании наших проводов можно получить в пролетах на 20-30% длиннее, уменьшить количество промежуточных опор на ВЛ и, соответственно, сократить затраты на строительство. В задачи наших ближайших перспективных разработок также входит создание конструкций с сердечником повышенной прочности, но с уменьшенными значениями сечений по стали, что сможет позволить нам при тех же тяжениях, что и у АС проводов существенно снизить их вес и уменьшить длину пролета на 20-30%, не снижая показатели проводимости.

АСВП и АСВТ провода с конструктивным исполнением по группе III позволяют при приблизительно том же весе, тяжениях и диаметрах АС проводов на 25 % поднять их проводимость. Сравнение также проведено с проводами АС, у которых соотношение Al к стали равно 4,3.

Интересен также эффект использования провода АСВП (АСВТ) провода 371/106 взамен провода 300/204 (соотношение Al к стали 1,4). Мы можем получить при одинаковых стрелах провеса и габаритных пролетах приблизительно 30% снижение веса и 25% увеличение проводимости нашего провода.

Конечно, показать работоспособность и полностью использовать конструктивные преимущества наших проводов и грозотросов возможно только при идеальной совместной работе грозотроса, а также провода и сердечника в устройстве крепления (соединения). В нашем случае эта задача решена ЗАО «Электросетьстройпроект», разработавшим специально для наших конструкций проводов и грозотросов устройства крепления и соединения спирального типа, прошедшие совместно с проводами и грозотросами весь необходимый цикл совместных аттестационных испытаний.

Предлагаемые нами к использованию на ВЛ пластически обжатые провода типа АСВП и АСВТ отличаются от проводов классической конструкции тем, что после свивки сердечник пластически обжимается, аналогичной операции подвергают и токоведущие проводники после свивки. В первом случае используется Al обычных марок, во втором с добавками заданного к-ва Zr, увеличивающего предельно допустимую температуру использования этих проводов с 90°C до 210°C.

Необходимые для представления и расчетов технические характеристики всех наших изделий, а также их вид, перечень и некоторые результаты аттестационных испытаний

представлены в литературе [1-7], на нашем сайте <http://w.w.w.energосervice.com> и на изображенных в презентации таблицах.

Основные преимущества проводов АСВП и АСВТ перед стандартными АС проводами по ГОСТ 839-80:

1. Повышенная механическая прочность и компактность конструкции позволяет: использовать провода при тех же значениях диаметров и увеличить расстояния между опорами минимально на 20-30% без существенного изменения проводимости ВЛ. При увеличении прочности сердечника и уменьшении диаметров проводов при сохранении проводимости возможно уменьшение до 30% их веса и увеличение пролетов до 20%.
2. При одинаковых значениях механической прочности изделий на 20-30% поднимается его проводимость, а также повышается предельно допустимое значение тока при одинаковых максимально допустимых температурах.
3. Уменьшение стоимости строительства и повышенная надежность работы проводов в связке с грозотросами или ОКГТ для районов по силе ветра, гололеду –III и выше.
4. Высокая стойкость конструкций к сочетанию нагрузок растяжение - изгиб (тяжение и эоловая вибрация). Обеспечивается применением авторской технологии сочетания линейной свивки проволок сердечника и токоведущих слоев и пластической деформации сердечника, и изделия в целом.

Высокотемпературные провода – это совершенно новый класс изделий, не имеющий аналогов ни в ПУЭ изд 7, ни в ГОСТе 839-80, поэтому их применение в настоящее не оговорено никакими нормативными документами. Их основная цель за счет повышения температуры рекристаллизации Al сплава повысить пропускную способность и значения предельно допустимого тока, а также увеличить максимально допустимую температуру использования провода.

В табл. 1 приведено сравнение характеристик проводов АС (ACSR), AERO-Z компании NEXANS [5] и проводов АСВТ производства АО «Редаелли ССМ».

Таблица 1. Сравнение характеристик проводов АС, AERO-Z, АСВП

Марка	Диаметр, мм	Сечение, мм ²	Сопротивление, Ом/км	Разрывное усилие, кг	I _{дл.доп.} , А
АС 240/56	22,4	241/56,3 (100%/100%)	0,1197 (100%)	98253 (100%)	610 (100%)
AERO-Z 346-2Z	22,4	345,65 (143% / 0%)	0,0974 (81%)	111320 (113%)	852 (140%)
АСВП 277/79	22,4	277,3/78,8 (115%/140%)	0,104 (87%)	163940 (167%)	861,77 (141%)

АСВТ 277/79	22,4	277,3/78,8 (115%/140%)	0,104 (87%)	163940 (167%)	1199,6 (197%)
-------------	------	---------------------------	----------------	--------------------------------	--------------------------------

Примечание. Значения величин для провода АС взяты за 100%.

Применение проводов АЕРО-Z значительно улучшает токовые характеристики проводов по сравнению с проводами АС, снижает сопротивление и погонную массу. В то же время провода АСВТ имеют более высокую прочность при примерно одинаковой по сравнению с проводами АЕРО-Z пропускной способности. Возрастание по отношению к проводу АС массы компенсируется более высокой прочностью провода АСВТ. Иными словами, провода АСВТ позволяют увеличить длину пролёта, обеспечить большую пропускную способность при меньшем диаметре, чем провода АС (см. табл. 1).

Обоснованный подход к выбору провода показывает, что провода АСВП, АСВТ, грозозащитные троса ТУ062-2008 и ОКГТ ТУ113-2013 позволяют расширить традиционные рамки проектирования ВЛ и решать задачи, которые ранее были неразрешимы или решение их сопровождалось значительными трудностями, а также, при наличии конкретного технического задания, требования, выпускать эти изделия с заранее программируемыми свойствами.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительная оценка параметров сталеалюминевых проводов различных типов и стандартных грозотросов с предлагаемыми по ТУ062-2008 и ТУ 113-2013 их расчеты на механическую прочность при различных режимах климатических условий показали, что сталеалюминевые пластически обжатые провода АСВП и АСВТ в сочетании с грозотросами (ТУ062-2008) или ОКГТ (ТУ 113-2013) позволяют гибко решать проблемы проектирования и нового строительства ВЛ. Стоимость проводов АСВП незначительно превышает стоимость проводов АС, а более высокая прочность позволит получить экономию капитальных затрат за счет снижения количества опор. В случае использования в новом проекте проводов АСВТ значительно сократит стоимость затрат в сравнении с импортными аналогами. Пропускная способность ВЛ за счёт применения проводов АСВП и АСВТ может быть повышена на величину от нескольких десятков до нескольких сот процентов по отношению к проводам АС (ACSR).
2. При реконструкции старых ВЛ провода АСВП, АСВТ с усиленным сердечником по сравнению с проводами АС той же пропускной способности позволяют снизить нагрузки на опоры и уменьшить стрелы провиса.
3. Показаны перспективы и преимущества применения грозотросов ТУ062(ОКГТ ТУ113), проводов АСВП и АСВТ для регионов с повышенными значениями ветровых, грозовых и гололедных воздействий.
4. Комплексное грамотное применение проводов АСВП и АСВТ вместе грозотросами ТУ062-2008 или ОКГТ ТУ113-2013. А также использование совместно с ними спиральной

арматуры, специально разработанной для их ЗАО «Электросетьстройпроект», при новом строительстве и реконструкции ВЛ могут существенно повысить ее надежность при воздействии всего спектра климатических нагрузок, увеличить пропускную способность, снизить затраты.

Список использованной литературы

1. О повышении служебных свойств канатов для молниезащиты воздушных линий электропередачи / А.К. Власов, В.А. Фокин, В.В. Петрович, В.И. Фролов, В.Ф. Даненко // Сталь. - 2011. - № 7. - С. 78-81
2. Исследование стойкости грозозащитных тросов к ударам молнии и механическим воздействиям / А.К. Власов, В.А. Фокин, В.Ф. Даненко, В.И. Фролов, Е.Ю. Кушкина// Сталь. - 2013. - № 9. - С. 66-70.
3. Патент РФ №2490742 Способ изготовления стального троса / Фокин В. А., Власов А. К., Фролов В. И. Оpubл.20.08.2013. Бюл. №23.
4. Патент РФ №2447525 Способ изготовления высокотемпературного провода для воздушной линии электропередачи и провод, полученный данным способом / Фокин В. А., Власов А. К., Петрович В.И., Звягинцев А.В., Фролов В. И. Оpubл.10.04.2012. Бюл. №10.
5. Колосов, С. В. Новое поколение проводов ВЛ: пластически деформированные провода/ С. В. Колосов, В. А. Фокин// Электроэнергия: передача и распределение. -2014. - №1. –С. 90-92.
6. Патент РФ №132241 Сталеалюминевый провод для воздушной линии электропередачи / Фокин В. А., Власов А. К., Петрович В. В., Звягинцев А. В., Фролов В. И. Оpubл.10.09.2013. Бюл. №25.
7. Гуревич, Л.М. Моделирование электромагнитных потерь в сталеалюминиевых проводах различной конструкции / Л. М. Гуревич, В.Ф. Даненко, Д.В. Проничев, М. Д. Трунов // "ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение" № 5 (26), сентябрь–октябрь, 2014. – С.62-65.