

Исследование комплекса пластически деформированных (компактированных) продуктов для воздушных линий электропередачи

Испытания, проведенные в 2007–2019 годах в специализированных научно-технических лабораториях России и Германии, показали, что применение пластически деформированных проводов на ВЛ 6–750 кВ позволяет увеличить длины пролетов до 40% (по сравнению с классическими проводами), уменьшить аэродинамические (на 20–35%) и гололедные нагрузки (на 25–40%) и обеспечить ряд других преимуществ. Исследование комплекса пластически деформированных (компактированных) продуктов для воздушных линий электропередачи осуществлено ООО «Центр Промышленных Технологий» при грантовой поддержке Фонда «Сколково».

Курьянов В.Н.,
к.т.н., заведующий
кафедрой
«Электроэнергетика
и электротехника»
«НИУ «МЭИ»

Гуревич Л.М.,
д.т.н., заведующий
кафедрой
Материаловедения
и композиционных
материалов ВолгГТУ

Тимашова Л.В.,
к.т.н., заместитель
научного
руководителя,
начальник Центра
электротехнического
оборудования АО
«НТЦ ФСК ЕЭС»

Фокин В.А.,
генеральный директор
ООО «Центр Промыш-
ленных Технологий»

Начиная с 2008 года разработчиками пластически деформированных сталеалюминиевых проводов АСВП (высокопрочный) и АСВТ (высокотемпературный) в России, Германии, Австрии и Франции получено более 30 патентов, в том числе на технологию производства, что подтверждает уникальность технических решений.

Технология производства данных проводов в России освоена на предприятиях ОАО «Северсталь-метиз». Владельцами прав на данные изделия являются ООО «Энергосервис» и ООО «Метсбытсервис».

Отдельно отмечено исследование, законченное в 2021 году АО «НТЦ ФСК ЕЭС» и ООО «Центр Промышленных Технологий», — об эффективности применения в качестве оттяжек канатов по СТО 71915393-ТУ062-2008 по сравнению с традиционно применяемыми канатами по ГОСТ 3063-80 и 3064-80 на основании НИР АО «НТЦ ФСК ЕЭС» в 2015 году «Анализ целесообразности применения в качестве оттяжек опор ВЛ пластически деформированных стальных канатов по СТО 71915393-ТУ062-2008» и «Моделирование замены каната 17,0-Г-В-СС-Р-140 по ГОСТ 3064-66 на канат (грозотрос типа МЗ)» в 2020 году.

ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ

Применение кругового (радиального) пластического обжатия провода позволяет улучшить сразу несколько характеристик: повысить точность изготовления пряжей по диаметру, уплотнить свивку, устранить возможную неравномерность натяжения проволок, сформировать полосовой контакт между проволоками, нейтрализовать свивочные напряжения, обеспечить равномерное распределение нагрузки между составными элементами.

Дополнительное снижение габаритов провода достигается при использовании пластического деформирования не только наружного слоя, но и предварительного обжатия стального сердечника.

Внешняя поверхность изделий, полученных с применением такой технологии, оказывается более гладкой и ровной, чем у продукции, выполненной из круглых проволок, а заполнение внутреннего пространства превышает 95%, что позволяет уменьшить нагрузку от климатических воздействий, значительно снизить аэродинамическое сопротивление

и пляску проводов. Например, изменение профиля алюминиевых проволок внешних повивов и плотности заполнения сталеалюминиевого провода АСВП 216/33 при различных степенях компактирования: после свивки ($\varnothing 19,2$ мм), после обжаты до $\varnothing 17,8$ мм и $\varnothing 16,2$ мм соответственно.

Меньший диаметр проводов типа АСВП позволяет снизить ветровую нагрузку в среднем на 33% (таблица 1).

Измененная геометрия проволок провода улучшает свойства такого провода по изгибной и крутильной жесткости, стойкости к вибрации, пляске и термоциклированию.

Применение технологии пластического деформирования дает ряд технических преимуществ, снижающих нагрузки на все элементы ВЛ:

- увеличение коэффициента заполнения до 92–97%;
- уменьшение аэродинамической нагрузки (на 20–35%) и самогашение колебаний;
- снижение гололедообразования (на 25–40%) и эксплуатационной вытяжки в несколько раз;
- стабильность режима вибрации, так как минимизируется во внутренние слои попадание влаги, способной (при замерзании) изменить режим, на который рассчитана система гашения, с последующими эксплуатационными рисками.

У провода АСВП 128/36 за счет более тесного контакта проволок начальная амплитуда и период колебания оказались примерно в 1,7 раза меньше, чем у провода АС120/27 при одной и той же набранной скорости изгибаемого провода при импульсном воздействии (рисунок 1).

Близкая к гладкой наружная поверхность у пластически деформированных проводов типа АСВП, аналогичная профилю наружного слоя проводов из сегментных, Ω - и Z-образных алюминиевых проволок, позволяет уменьшить вибрацию и пляску.

В то же время, даже по сравнению с проводами из сегментных, Ω - и Z-образных алюминиевых проволок, провода АСВП обладают большей торсионной жесткостью, уменьшенной вероятностью пляски и повышенной стойкостью к вибрации, лучшим самодемпфированием, так как, в отличие от них, имеют развитую поверхность контакта соседних проволок не только внутри одного повива, но и между повивами.

Для традиционных проводов типа АС характерно значительное изменение геометрии провода в про-

Табл. 1. Значения ветровой нагрузки на провода одинаковой пропускной способности типов АС и АСВП с различным контуром поперечного сечения в зависимости от скорости воздушного потока

Скорость ветра V_{AB} , м/с	Ветровая нагрузка, действующая на провода следующих марок, Н/м					
	АСВП 128/37	АС 120/19	АСВП 216/32	АС 240/34	АСВП 277/79	АС 240/56
25	3.6	4.8	4.9	6.9	5.2	7.0
32	5.9	7.9	7.8	11.4	8.4	11.5
60	20.8	28.5	28.4	41.5	29.8	41.6

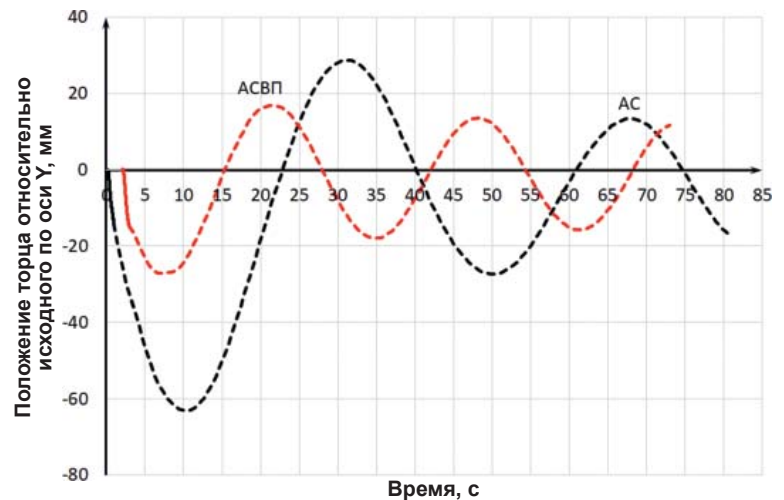


Рис. 1. Изменение во времени вертикальной координаты свободного торца отрезка проводов АСВП 128/36 и АС120/27 при затухающих колебаниях

цессе колебания с формированием больших расстояний между проволоками (рисунки 2а и 2б) и нарушением равномерности их нагружения, причем увеличение внешнего размера провода происходит как в плоскости колебаний, так и перпендикулярно к ней. Контакт между большинством проволок пластически обжатого провода АСВП сохраняется даже в точках экстремумов.

СРАВНЕНИЕ ПРОВОДОВ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

В ходе испытаний нового пластически деформированного алюминиево-стального провода проверялись как механические, так и электрические свойства в соответствии с актуальными европейскими нормами и стандартами.

Для проведения испытаний привлекались три испытательных центра ФРГ и АО «НТЦ ФСК ЭЭС».

Электромеханические испытания системы «провод-арматура» проведены фирмами Spie/SAG и FGH Engineering & Test GmbH в Германии

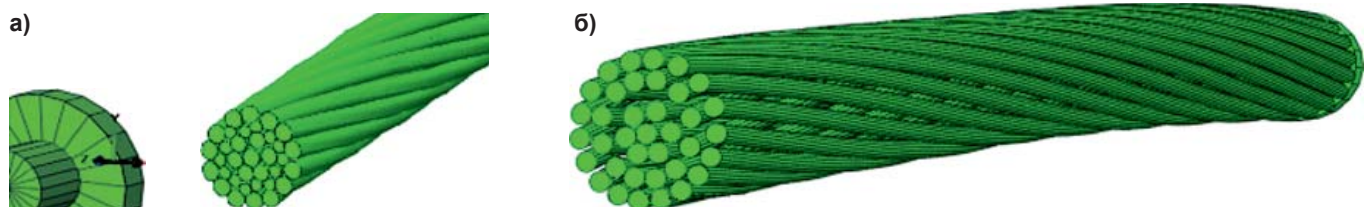


Рис. 2. Поперечные сечения и положение отдельных проволок моделируемых проводов в процессе вибрации: а) АСВП; б) АС

под контролем VDE (VDE Testing and Certification Institute).

В соответствии с регламентом, установленным VDE, проведены комплексные испытания, в том числе в соответствии со стандартами DIN EN 50189, DIN EN 62004, DIN EN 50540, DIN EN 62004, 48207, 62568, IEC 61284, 61854, Cigré 426, DIN EN 62568, IEEE 1138 и др., что позволило успешно сертифицировать провод в ЕС.

Возможности решения основных проблем строительства и эксплуатации ВЛ за счет совместного применения проводов АСВП/АСВТ с грозотросом МЗ без удорожания относительно АС экспериментально подтверждены АО «НТЦ ФСК ЕЭС», VDE (Германия), АО «ВНИИЖТ», НИУ «МЭИ» и Волгоградским государственным техническим университетом.

Применение грозотроса МЗ или ОКГТ типа МЗ обеспечит абсолютную молниестойкость и протяженный пролет. Применение грозотроса МЗ в качестве оттяжек опор обеспечит снижение затрат, в том числе эксплуатационных.

ИСПЫТАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА

Важным моментом при использовании проводов меньшего диаметра является риск возникновения потерь электроэнергии от коронирования и повышения акустического уровня шума.

Испытательной лабораторией электрооборудования высоковольтных электрических сетей по требованиям электромагнитной совместимости АО «НТЦ ФСК ЕЭС», а затем в Институте ассоциации электротехники (VDE Testing and Certification Institute, Германия), были проведены четыре исследования для выяснения этих вопросов. В таблице 2 представлены результаты испытаний четырех видов проводов, используемых в эксперименте.

На первом этапе для сравнения и изучения коронных разрядов взяты два провода одинакового диаметра (18,8 мм).

Испытания проводились в соответствии с рекомендациями МЭК 61284. На основании результатов сравнительных испытаний, проведенных в НТЦ ФСК ЕЭС, установлено, что компактированный провод 197/55, изготовленный с использованием технологии пластического обжатия, имеет напряжение возникновения коронного разряда (142,2 кВ) на 5,7% выше, чем классический провод АС 185/29 (134,5 кВ) того же диаметра (18,8 мм).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

пластически деформированного провода и грозотроса для решения задач строительства и эксплуатации ВЛ, в сравнении с проводом АС:

- снижение потерь электроэнергии от коронных разрядов и уровня шума, без увеличения диаметра;
- повышение устойчивости молниезащиты и стойкости к токам короткого замыкания;
- значительное снижение относительного удлинения при эксплуатации;
- гашение вибрации, пляски и собственных колебаний проводов;
- увеличение длины пролета и (или) провисания, без увеличения диаметра провода;
- возможность замены провода на существующих опорах электропередачи, снижение нагрузки на все элементы воздушной линии и (или) повышение ее пропускной способности;
- снижение ветрового давления при сохранении пропускной способности провода;
- возможность увеличения пропускной способности кольцевых сетей без увеличения сечения провода и замены опор;
- уменьшение обледенения при одинаковых сечениях проводов по АI;
- сохранение пропускной способности провода в регионах с высокими температурами окружающей среды и солнечной радиации, без увеличения диаметра провода.

Аналогичные испытания проведены для пластически деформированного провода 216/33 и классического АС 240/32 с различными диаметрами. По результатам сравнительных испытаний провод АС 240/32 (диаметр — 21,6 мм) и компактированный провод 216/33 (диаметр — 18,5 мм) имеют одинаковое напряжение возникновения коронного разряда.

Однако длительно допустимый ток сравниваемых проводов существенно отличается (510 А для провода АС 240/32 и 689 А для компактированного провода 216/33 ($t = 70^{\circ}\text{C}$) и 1040 А для компактированного провода 216/33 ($t = 150^{\circ}\text{C}$).

Испытательное напряжение для возникновения видимой короны на воздушных линиях 220 кВ было определено лабораторией FGH Engineering & Test

Табл. 2. Технические данные испытанных проводов

Тип проводника	Диаметр проводника (наружный), мм	Количество алюминиевых проводов в проводнике, шт	Диаметр наружного слоя проводов, мм	Длительно допустимый ток, А
АС 150/19	16,8	24	2,8	450
АС 185/29	18,8	26	2,98	510
АСВП/АСВТ 197/55	18,8	28	3,45	561/943*
АС 240/32	21,6	24	3,6	605

* $t_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$ для высокопрочных сталеалюминиевых компактированных проводов и $t_{\max} = 150^{\circ}\text{C}$ для высокотемпературных компактированных сталеалюминиевых проводов.

GmbH как 167,7 кВ (фазное напряжение) и испытательной лабораторией НТЦ ФСК ЕЭС, как 160,0 кВ (фазное напряжение). Процедура испытаний в обеих лабораториях была одинаковой и проводилась по методике IES 61284:1998.

Уровни напряжения и зарегистрированные результаты при испытании видимой короны показаны на рисунке 3.

Испытания дали аналогичные результаты для напряжения коронного зажигания и начала стримера коронного разряда. Незначительные различия в результатах возникают из-за условий проведения испытаний образцов проводов.

Образцы проводов взяты непосредственно из барабана при испытаниях в лаборатории Fgh Engineering & Test GmbH. Что касается испытаний лаборатории НТЦ ФСК ЕЭС, то поверхность образцов проводов дополнительно очищалась от загрязнений и мелких дефектов (связанных с транспортировкой и размоткой), которые могли вызвать коронный разряд. Это было сделано для изучения начала возникновения очагов коронных разрядов нового пластически деформированного высокотемпературного провода 19.6-216/33-1.

По результатам испытаний, полученных лабораториями, было установлено, что стримерное начало коронного разряда для компактированного высокотемпературного провода 19.6-216/33-1 находится на уровне 139,7–150 кВ (фазное напряжение).

Исходя из уровня коронного разряда, провод АСВП/АСВТ допускает уменьшение диаметра на

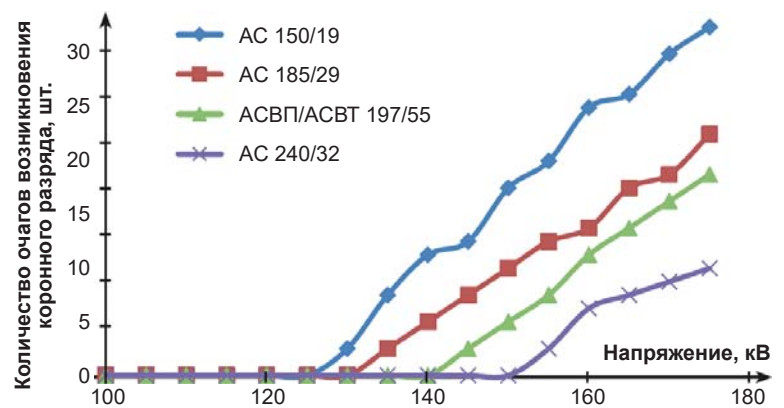


Рис. 3. Зависимость количества очагов возникновения коронного разряда от напряжения

10–12%, снижая нагрузку на все элементы ВЛ и стоимость. Рассчитанные удельные потери на корону для хорошей погоды представлены в таблицах 3 и 4.

Провода типа АСВП имеют преимущества в части меньших потерь на корону по сравнению с проводами типа АС того же диаметра. Также провода АСВП имеют соответствующие потери от возникновения коронных разрядов в отношении проводников АС с большим диаметром и подобными электрическими и механическими характеристиками.

СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ, ГОЛОЛЕДНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ОПОРЫ ВЛ

Интенсивная гололедная нагрузка воздушных линий электропередачи является одной из актуальных проблем электроэнергетики в странах с соответствующими погодными условиями.

Пластически деформированные провода имеют большую торсионную жесткость, повышенную виброустойчивость и способность к самозатуханию колебаний даже по сравнению с проводниками из сегментированных Ω - и Z-образных проволок, поскольку АСВП имеют развитую контактную поверхность соседних проволок не только внутри одного слоя, но и между слоями [3].

Именно высокая торсионная жесткость и меньший диаметр (при том же сечении), являются ключевыми факторами, снижающими гололедообразование. Соответствующие эксперименты проводились, в том числе в рамках НИОКР ОАО «МРСК Урала».

Закрытая конструкция пластически деформированного провода обеспечивает стабильность режима вибрации. В свою очередь, у стандартного провода влага, попавшая внутрь провода при замерзании, способна изменить режим вибрации, на который рассчитывались гасители, что может значительно повлиять на срок службы как провода, так и других элементов ВЛ.

Пластическая деформация проводов не только значительно повышает механическую прочность, но и в несколько раз снижает эксплуатационную вытяжку (независимо от металла). Соответствующие испытания изделий из различных металлов (сталь, алюминий, медь) проводились в АО «ВНИИЖТ», АО «НТЦ ФСК ЕЭС» и VDE [4].

Табл. 3. Удельные потери на корону в хорошую погоду (ВЛ 220 кВ)

Конструкция провода (модель проводника; диаметр проводника)	Изменение среднегодовых потерь
АС 240/32, \varnothing 21,6 mm	26,67%
АС 300/39, \varnothing 24,0 mm	0,00%
АС 330/43, \varnothing 25,2 mm	-13,33%
АСВП 317/47, \varnothing 22,3 mm	-13,33%
АСВП 295/44, \varnothing 21,5 mm	-6,67%

Табл. 4. Удельные потери на корону в хорошую погоду (ВЛ 330 кВ с расщепленной фазой, состоящей из 2 проводов с шагом 40 см)

Конструкция провода (модель проводника; диаметр проводника)	Изменение среднегодовых потерь
2 × АС 300/39, \varnothing 24,0 mm	18,52%
2 × АС 400/51, \varnothing 27,5 mm	0,00%
2 × АСВП 317/47, \varnothing 22,3 mm	-7,41%
2 × АСВП 295/44, \varnothing 21,5 mm	3,70%

Табл. 5. Показатели применения проводов на ВЛ 150 кВ до подстанции «Мурманская»

Провод	Разрывное усилие, кН	Максимальное натяжение, Н/м	Диаметр проводника, мм	Масса проводника (1 км), кг	Длина пролета, м
АС 240/32	75,05	3377,33	21,6	921	330
АСВП258/73	151,533	6819,13	21,6	1296,5	443
АСВП 295/44	109	4905,05	21,5	1183	382
АСВП 218/63	130,096	5854,44	19,82	1106,7	424
АСВП 216/33	81,5	3667,51	18,5	855	352
АСВП 214/61	126,672	5700,33	19,6	1080,9	421

УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИНЫ ПРОЛЕТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НОВЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Пластически деформированные провода позволяют увеличить расстояние между опорами воздушной линии до 140% от стандартных пролетов (при отсутствии ограничений, связанных с изменением трассы линии). Это актуально при строительстве новых ВЛ. Например, проведен сравнительный анализ длины пролета для провода АСВП 128/37, установленного на ВЛ 110 кВ, и проводов АС 120/27 и АС 120/19, имеющих одинаковое поперечное сечение и диаметры.

Применение провода АСВП 128/37 позволяет увеличить длину пролета с 212 до 294 м по сравнению с проводом АС 120/27. Провод АСВП 128/37 имеет более высокое содержание стали (отношение площади поперечного сечения алюминия и стали составляет 3,45 для проводника АСВП 128/37 и 4,3 для проводника АС 120/27), равный диаметр (15,2 мм) и повышенную пропускную способность (на 8% выше).

Эффективным примером применения компактированных проводов является проект ВЛ 150 кВ

от подстанции № 53 до подстанции «Мурманская» (таблица 5).

Провод АСВП 258/73 является наиболее эффективным вариантом при строительстве новой воздушной линии.

В свою очередь, провод АСВП 216/33 является оптимальным вариантом при реконструкции ВЛ (замене проводников на существующих опорах электропередачи в пролете АС 240/32).

Подобные типовые «пары» эффективной альтернативы проводу АС для нового строительства и реконструкции разработаны для сечений 95, 120, 150, 185, 240, 300 и 400 мм².

Другой пример эффективного применения АСВП в филиале ПАО «Россети Сибирь» — АО «Тываэнерго», отмеченный техническим советом ПАО «Россети» (Протокол № 1ТС-2020), где для устройства перехода через реку Енисей для соблюдения габарита требовалась установка высотных опор, что повлекло бы удорожание проекта.

В таблице 6 представлена сравнительная модель ВЛ 220 кВ Тулун — Туманная (базовый провод

Табл. 6. Сравнительная модель ВЛ 220 кВ Тулун — Туманная
(базовый провод — АС 300/39, а провод **АСВП(Т) 218/63** снижает затраты на провод и опоры на 15%)

Наименование показателя	Марка провода						
	АС 300/39	АСВП 295/44	АСВП 258/73	АНВП 354,29	АСВП 277/79	АСВП 218/63	АСВП 317/47
Анкерный участок, км	1,7						
Длина ВЛ, км	140						
Провода, км	432,6						
Цена 1 км провода, руб.	277 250	296 000	325 000	376 000	315 500	248 000	317 000
Стоимость проводов, руб.	119 938 350	128 049 600	140 595 000	162 65 7600	136 485 300	107 284 800	137 134 200
Длина пролета из расчета возможности провода, м	429	471	463	448	455	479	464
Кол-во опор П220н-1,2	244	215	221	231	226	210	220
Цена опоры П220н-1,2	450 000,00						
Итого стоимость опоры, руб.	109 800 000	96 750 000	99 450 000	103 950 000	101 700 000	94 500 000	99 000 000
Всего, руб.	229 738 350	224 799 600	240 045 000	266 607 600	238 185 300	201 784 800	236 134 200
Разница, руб.	–	–4 938 750	10 306 650	36 869 250	8 446 950	–27 953 550	6 395 850

► **АСВП(Т) 218/63** обеспечивает максимальный пролет, снижает общие затраты на провод и опоры на 15% (без учета стоимости арматуры и монтажа), а также стоимость эксплуатации за счет уменьшения затрат на обслуживание «выпадающих» опор (в дополнение к снижению стоимости строительства и эксплуатации).

► **АСВП(Т) 295/44** обеспечивает снижение потерь энергии, имея достаточный допустимый ток и минимальную цену закупки.

Допустимый пролет соответствует стандартному для АС 300, **не требуя пересмотра проекта.**

Оба провода минимизируют атмосферные нагрузки на все элементы ВЛ из-за конструкции и малого диаметра.

Табл. 7. Сравнительная модель 30 км одноцепной ВЛ 110 кВ (базовый провод — АС 120/19, а провод АСВП 128/36 обеспечивает увеличение пролета на 30%)

Тип провода	АС 120/19	АСВП 112/13+	АСВП 128/36	АНВП 180-61
Длина анкерного пролета, м	1700			
Длина ЛЭП, м	50 000			
Количество провода, км	180,00			
Цена 1 км провода, руб.	115 307	112 000	144 000	159 000
Стоимость провода, руб.	20 755 260	20 160 000	25 920 000	28 620 000
Длина пролета промежуточной опоры, м	281	287	372	296
Кол-во промежуточных опор	175	172	132	166
Тип опоры	П110-3			
Стоимость промежуточной опоры, руб.	200 000			
ИТОГО стоимость промежуточных опор, руб.	35 000 000	34 400 000,00	26 400 000	33 200 000
ИТОГО	55 755 260	54 560 000,00	52 320 000	61 820 000
Увеличение стоимости, руб.	0	-1 195 260	-3 435 260	6 064 740

Примечание. Стоимость провода указана исходя из средней стоимости алюминия и курса доллара за 9 месяцев 2020 года.

Выводы. Исходя из комплекса электромеханических и экономических характеристик, оптимальны:

1. При новом строительстве АСВП 128/36 обеспечивает **увеличение пролета на 30%**, то есть снижение затрат на ВЛ и потерь энергии.
2. В пролете АС 120 АСВП 112/13+, имея достаточный допустимый ток и минимальную цену, **минимизирует потери энергии** и атмосферные нагрузки из-за конструкции и малого диаметра. При этом провод полностью соответствует требованию ПУЭ-7, в части минимального сечения (120 мм²).

АС 300/39, АСВП(Т) 218/63 снижает затраты на провод и опоры на 15%), а в таблице 7 — сравнительная модель 30 км одноцепной ВЛ 110 кВ (базовый провод АС 120/19, АСВП 128/36, обеспечивает увеличение пролета на 30%). Техническое решение по применению провода АСВП с заданными механическими характеристиками обеспечило соблюдение габарита при применении типовых опор.

Главной проблемой применения проводов нового типа является отсутствие многофакторного анализа при выборе провода.

Существенно повысить эффективность строительства новых ВЛ позволит применение согласованных по механическим характеристикам компактных проводов и изготовленных по той же технологии грозотросов МЗ. Абсолютно не обоснована ситуация, когда механические характеристики грозотроса становятся фактором, ограничивающим пролет.

ПОДДЕРЖАНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В ЗОНАХ С ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Атмосферный нагрев провода до 60–70°C, приводит к падению пропускной способности и, как следствие, к необходимости увеличить сечение, а значит и затраты. Высокотемпературный провод АСВП способен выдержать большую нагрузку при равных условиях окружающей среды по сравнению с проводом АС.

Длительно допустимый ток для АСВП на 30–50% превышает значение для стандартного провода того же диаметра. Однако в случае с АСВП это не связа-

но с многократным ростом стоимости, в отличие от большинства высокотемпературных проводов.

Благодаря своим конструктивным особенностям высокотемпературный провод АСВП дешевле в несколько раз по сравнению с аналогами с длительно допустимой температурой 150°C.

Характеристики и особенности провода АСВП подтверждены в ходе российско-германских испытаний. Согласно действующим правилам эксплуатации электроустановок, допустимый ток определяется с учетом самой высокой температуры нагрева провода (70°C).

Расчет предельных токов при температурах ниже 45°C может производиться без учета влияния солнечной радиации. Поглощенная солнечная радиация в средних широтах может нагревать провод на 2–3°C (для проводов, работающих в диапазоне температур 60–70°C и выше). Высокопрочный провод АСВП способен выдержать большую нагрузку при равных условиях окружающей среды по сравнению с проводом АС.

Следует отметить, что, согласно нормативной документации, стандартные провода допускаются к эксплуатации при их нагреве до температуры 90°C. Допустимая температура для пластически деформированного провода АСВП составляет 150°C.

На рисунке 4 представлена зависимость допустимой токовой нагрузки от температуры воздуха (скорость ветра равна 1,2 м/с) для проводов типа АС и АСВП в условиях максимальной рабочей температуры 80°C и 150°C соответственно.

Таким образом, пластически деформированные высокотемпературные провода (без увеличения сечения) целесообразно использовать:

- для больших переходов, позволяя снизить высоту опор;

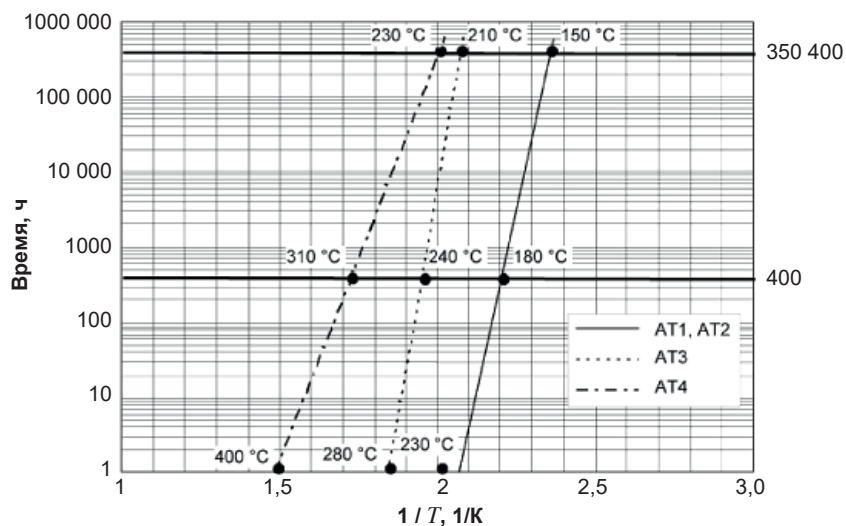
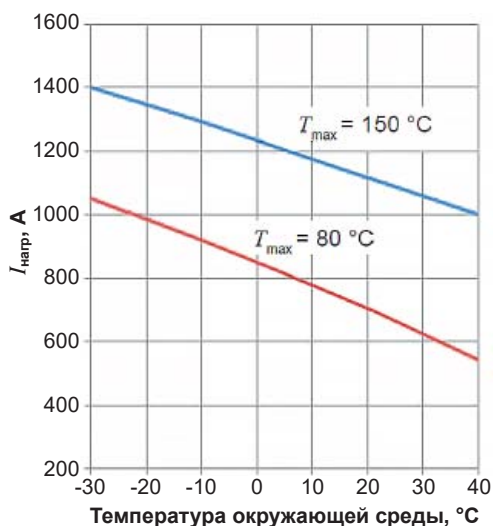


Рис. 4. Зависимость токовой нагрузки от температуры окружающей среды для проводов АС и АСВЛ с одинаковым диаметром при скорости ветра 1,2 м/с: слева — теоретическая модель; справа — экспериментальное подтверждение в испытательном центре в Германии

- для ВЛ с возможностью возникновения перегрузок в период поставарийных режимов;
- при построении, реконструкции и замене провода в кольцевых схемах;
- в районах с высокими температурами воздуха и солнечной активностью.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
В КАЧЕСТВЕ ОТТЯЖЕК КАНАТОВ ПО СТО
71915393-ТУ062-2008 ПО СРАВНИЮ
С ТРАДИЦИОННО ПРИМЕНЯЕМЫМИ
КАНАТАМИ ПО ГОСТ 3063-80 И 3064-80**

АО «НТЦ ФСК ЕЭС» в 2015 году были выполнены работы по титулу «Анализ целесообразности применения в качестве оттяжек опор ВЛ, пластически деформированных стальных канатов по СТО 71915393-ТУ062-2008». При проведении сравнительных механических испытаний использовались образцы традиционно применяемых оттяжек и образцы оттяжек по СТО 71915393-ТУ062-2008.

Анализ результатов сравнительных испытаний позволяет сделать однозначный вывод о целесообразности применения в качестве оттяжек пластически деформированных грозотросов — стальных канатов, изготавливаемых по СТО 71915393-ТУ062-2008 — в качестве альтернативы существующим

канатам по ГОСТ 3064. Вытяжка троса марки 11,0-Г(МЗ)-В-ОЖ-МК-Н-Р-1960/200 Ø11 мм почти в четыре раза меньше, чем вытяжка троса марки 15,5-Г-В-С-Н-Р-1370/140 Ø15,5 мм. Прогноз по вытяжке тросов на 25 лет также отличается почти в 4–5 раз в пользу троса марки 11,0-Г(МЗ)-В-ОЖ-МК-Н-Р-1960/200 Ø11 мм.

Эффективность такого применения обусловлена рядом преимуществ:

- 1) снижением металлоемкости и веса оттяжек (почти в два раза);
- 2) пониженным износом креплений и фундаментов опор ВЛ, в том числе за счет снижения вибрации, а также самопогашением колебаний;
- 3) практически полным отсутствием относительного удлинения оттяжек при эксплуатации;
- 4) снижением ветровой и гололедной нагрузки, испытываемой оттяжками, в том числе за счет меньшего диаметра и конструкции троса с более плотным (по отношению к применяемым) размещением проволок во всех слоях;
- 5) принципиально более высокими механическими характеристиками;
- 6) значительно более высоким модулем упругости (на 14–16%) и крутильной жесткостью;
- 7) высокой коррозионной стойкостью.

Табл. 8. Возможные варианты замены оттяжек по ГОСТ 3064-66 (3064-80) Ø17 мм

Оттяжка	Марка (типоразмер) каната	Ориентировочная масса 1000 м смазанного каната, кг	МПР, кН	Разница на один канат, кг/км	Разница по металлоемкости, %
Канат оттяжки по ГОСТ 3064-66 (3064-80)	канат 17-Г-В-СС-Р-140 по ГОСТ 3064-66	1425,0	195,5	–	–
Предлагаемые варианты каната по СТО 71915393-ТУ062-2008	канат (ГТ МЗ) 14,0-Г(МЗ)-В-ОЖ-МК-Н-Р-190	1125,0	242,6	–300	20
	канат (ГТ МЗ) 13,0-Г(МЗ)-В-ОЖ-МК-Н-Р-190	982	211,6	–443	31
	канат (ГТ МЗ) 12,5-Г(МЗ)-В-ОЖ-МК-Н-Р-190	890	192,8	–535	37

При этом не требуют изменения конструкции стандартных опор и системы крепления к опоре ВЛ «натяжной прессуемый зажим — трос — клиновой зажим». Этот вопрос проработан нами как с производителями арматуры, так и с «ИЦ ОРГРЭС».

При этом конструкция клинового зажима полностью идентична у обоих тросов. Нагрузки на конструкцию опоры в местах крепления к траверсе и фундаменту у обоих тросов одинаковы.

Табл. 9. Возможные варианты замены оттяжек

Наименование провода	Диаметр, мм	Сечение, мм ²	Вес, кг	Маркировочная группа, кг/мм ²	МПР, кН	Цена за 1 км без НДС*, руб.
ГОСТ 3063	13	101,7	873	140	124,5	138 770
ТУ062	10	70	575	190	124,1	102 493
ТУ062	11	83,6	695	180	141,1	112 074
ГОСТ 3064	14	116,9	993,6	140	135,5	197 164
ТУ062	11	83,6	695	180	141,1	112 074
ГОСТ 3064	15,5	141,4	1200	140	164,0	232 304
ТУ062	11	83,6	695	190	158,1	112 074
ТУ062	12,5	108	890	180	192,8	148 495
ГОСТ 3064	17,0	168,2	1425	140	195,5	262 075
ТУ062	13	118,6	982	180	200,3	162 688
ТУ062	12,5	108	890	180	192,8	148 495
ТУ062	14	135,9	1125	180	229,5	194 289
ГОСТ 3064	18,5	197,3	1685	140	229,5	308 314
ТУ062	14	135,9	1125	180	229,5	194 289
ГОСТ 3064	22,5	298,5	2550	140	347	443 386
ТУ062	17	201,6	1670	180	340,5	275 432
ТУ062	17	201,6	1670	190	360,2	289 204

* Цены указаны на конец 2020 года, за канаты оцинкованные по группе «ОЖ» (в соответствии с технической политикой ПАО «Россети»).

Поэтому никаких конструктивных изменений в эти основные элементы опор и фундаментов вносить не нужно.

Оттяжки МЗ подбирались именно под равные со стандартными (по ГОСТ 3064) тяжения (таблицы 8 и 9).

Соответствующие технические решения содержатся в «Указаниях по применению в качестве оттяжек опор ВЛ пластически деформированных канатов, изготовленных по СТО 71915393 ТУ 062-2008 взамен канатов по ГОСТ 3064 при ремонте, реконструкции и модернизации существующих опор ВЛ 110–500 кВ с оттяжками» (стандарт ПАО «Россети» СТО 34.01-2.2-036-2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование пластически деформированных проводов и грозотросов при новом строительстве и реконструкции ВЛ 6–750 кВ позволяет существенно повысить надежность электросетей при воздействии всего диапазона климатических нагрузок, снизить капитальные и эксплуатационные затраты. Экспериментальное подтверждение преимуществ (тесты в России и Германии) рассмотрены ТС ПАО «Россети» (Протоколы № 1ТС 2017 и 2020).

Наиболее перспективные направления применение провода АСВП(Т) на ВЛ:

- в областях со значительными ветровыми/гололедными нагрузками;
- для больших переходов, позволяя снизить высоту опор;

- при наличии протяженных анкерных участков;
- для ВЛ с возможностью возникновения перегрузок в период поставарийных режимов;
- при построении, реконструкции и замене провода в кольцевых схемах (в этом случае перспективно высокотемпературное исполнение, особенно рассматривая сопоставимую с АС стоимость);
- в районах с высокими температурами воздуха и солнечной активностью;
- при реконструкции действующих линий на старых опорах;
- на ВЛ, выполненных на высотных опорах.

Целесообразно совместное использование провода марок АСВП и АСВТ с грозозащитным тросом МЗ (или ОКГТ) из-за сопоставимости механических характеристик.

Испытания в АО «НТЦ ФСК ЕЭС» и в трех независимых исследовательских лабораториях Германии показали ряд технических преимуществ:

- уменьшение потерь электроэнергии на корону;
- уменьшение аэродинамической нагрузки (на 20–35%) и самогашение колебаний;
- снижение гололедообразования (на 25–40%) и снижение эксплуатационной вытяжки в 4 раза. **Р**

ООО «Центр Промышленных технологий»

+7 (459) 799-9235

promtehtsentr@yandex.ru