



**2018 Paris Session**

<http://www.cigre.org>

**SC B2 JPS B2 & C3**

**Применение пластически обжатых канатов в качестве проводов на воздушных линиях электропередачи**

**Л. М. ГУРЕВИЧ, В. Н. КУРЬЯНОВ, М.М. СУЛТАНОВ**

**ВолГТУ, НИУ «МЭИ»**

**Россия**

**Vek077@yandex.ru**

Пластически обжатые канаты обладают высокой конструктивной плотностью, повышенной разрывной и усталостной прочностью, высоким сопротивлением износу. Они нашли самое широкое применение в народном хозяйстве. Применение пластически обжатых канатов на воздушных линиях (ВЛ) электропередачи является перспективным направлением, способствующим повышению надежности, а также снижению эксплуатационных издержек на содержание вновь строящихся и реконструируемых линий. ООО «Энергосервис» и АО «Редаелли ССМ» накопили значительный опыт по проектированию и изготовлению пластически обжатых медных и сталемедных несущих тросов для контактных сетей железнодорожного транспорта, а также сталеалюминевых проводов различных конструкций для ВЛ различных уровней напряжения.

Характерным примером, имеющим положительный опыт эксплуатации, является изделие – несущий трос, используемый для подвески контактного провода в контактной сети железных дорог. Использование пластического кругового обжатия при изготовлении медного или сталемедного несущего троса в контактной сети позволило создать трос, обладающий высокой механической прочностью, с незначительно изменяющейся при колебаниях температуры длиной, устойчивостью к коррозии, электрической проводимостью меди, высокими аэродинамическими характеристиками. При этом несущий трос совместим со стандартной арматурой. Пластически деформированные несущие тросы марки МК (медные компактированные) способны выполнять функции не только несущего троса, но и усиливающих проводов, электрических соединителей контактной подвески и проводов фидерных линий. Принципиально новый медный несущий трос большей прочности без использования сплавов, увеличивающих электрические потери, обладает целым рядом преимуществ: низкой амплитудой и интенсивностью эоловой пляски; низкой вероятностью обрыва после нанесения механических повреждений в результате внешних воздействий; высоким уровнем усталостной прочности металла троса; увеличением жизненного цикла за счет самогашения колебаний; хорошими аэродинамическими характеристиками; уменьшением налипания снега и образования наледи за счет уникальной, более гладкой конструкции; высокой механической прочностью; устойчивостью к коррозии. По результатам испытаний в ОАО «ВНИИЖТ» на определение относительной скорости удлинения при одинаковых условиях (рабочая нагрузка, максимально допустимая рабочая температура) пластически деформированный медный несущий трос МК-120 сопоставим только с несущим тросом стандартной конструкции из бронзового сплава повышенной прочности (Бр2). Сравнение МК-120 со стандартными медным и бронзовым (Бр1) несущими тросами показали

значительно худшие показатели последних. Конечно-элементное моделирование растяжения пластически деформированного сталеалюминиевого провода контактной сети позволило оптимизировать его конструкцию, что привело к повышению разрывного усилия более чем на 30 %.

Особым классом проводов с повышенными прочностью и пропускной способностью являются пластически обжатые неизолированные высокопрочные (АСВП) и высокотемпературные (АСВТ) сталеалюминиевые провода с линейным касанием проволок. Пластически обжатые сталеалюминиевые провода отличаются от стандартных проводов АС классической конструкции тем, что до свивки сердечник пластически обжимается, аналогичной операции подвергают до свивки и токоведущие повивы. По сравнению с классическими новые пластически обжатые провода обладают большими прочностью и токовой пропускной способностью, что подтверждено результатами лабораторных испытаний. В отличие от уже ставших стандартным решением проводов с высокой (до 90 %) плотностью заполнения сечения за счет использования профилированной проволоки в пластически обжатых проводах АСВП изначально используют круглые проволоки из алюминия и высокопрочной стали. При пластическом обжатии достигается плотность заполнения сечения не ниже, чем при сборке проводов из профилированных проволок, а затраты на исходную проволоку значительно ниже. Использование методов конечно-элементного моделирования позволило оптимизировать геометрические размеры элементов АСВП и параметры пластического деформирования, обеспечивающие необходимую степень заполнения сечения. Пластическая деформация со степенью обжатия поперечного сечения, рассчитанной для каждого из материалов, предотвращает раскручивание провода и взаимное перемещение его элементов под действием сил на растяжение, а из-за механического упрочнения прочность алюминиевых проволок возрастает в 1,5 раза. В конструкции проводов АСВТ вместо проволок из чистого алюминия используются отечественные проволоки из сплавов системы алюминий-цирконий различного химического состава.

Сравнительная оценка параметров проводов АС различных типов и расчеты на механическую прочность при различных режимах климатических условий показали, что провода АСВП, АСВТ позволяют гибко решать проблемы проектирования и строительства ВЛ. Стоимость проводов АСВП, АСВТ незначительно превышает стоимость классических проводов АС, а более высокая прочность позволяет получать экономию капитальных затрат за счет снижения количества опор. Пропускная способность ВЛ за счёт применения проводов АСВП, АСВТ может быть повышена на величину до 1,7 раз по отношению к проводам АС (ACSR) того же диаметра. Меньший диаметр проводов АСВП, АСВТ по сравнению с проводами АС той же пропускной способности и гладкий наружный контур позволяют снизить нагрузки на опоры и уменьшить стрелы провеса за счет снижения ветровой нагрузки на провода и уменьшения толщин стенок гололеда в одних и тех же климатических зонах. Для оценки влияния ветра на провода с различной формой поперечных сечений использовалась двумерная модель конечно-элементного моделирования, показавшего, что среднее снижение ветровой нагрузки на провод АСВП (АСВТ) относительно стандартного АС близкой допустимой токовой нагрузки составляет 25-40 %. Результаты сравнительного экспериментального моделирования механизма возникновения и прироста гололедно-изморозевых отложений (ГИО) на образцах проводов в климатической установке в лаборатории национальной академии строительства и архитектуры показали, что для моделируемых условий эксперимента, соответствующих 2-му району по стенке гололеда, при прочих равных условиях интенсивность образования ГИО на компактных или пластически обжатых проводах (к которым относятся АСВП и АСВТ) ниже на 12 %.

По результатам проведенных в испытательной лаборатории электрооборудования высоковольтных электрических сетей по требованиям электромагнитной совместимости «НТЦ ФСК ЕЭС» сравнительных испытаний установлено, что для проводов одинакового

диаметра напряжение возникновения коронного разряда на проводе АСВП 197/55 производства ООО «Энергосервис» (142,2 кВ) за счет сглаживания профиля при пластическом обжати на 5,7 % выше напряжения возникновения коронного разряда на проводе марки АС 185/29 (134,5 кВ). Повышение напряжения возникновения коронного разряда позволяет уменьшить потери энергии на акустические шумы и свечение, снизить радиопомехи, вибрацию провода, а также выделение озона и других веществ.

Проведенное методом конечных элементов моделирование прохождения переменного тока по сталеалюминевым проводам различной конструкции показало, что вопреки установившемуся мнению, нашедшему отражение в ПУЭ-7, направление свивки алюминиевых проволок при четном количестве повивов практически не влияет на выделение теплоты в стальном сердечнике. Формирование электрических контактов высокой проводимости между проволоками в результате пластического обжата позволяет снизить на 10 % тепловыделения в стальном сердечнике сталеалюминевых проводов типа АСВП. Пластически обжатые неизолированные АСВП и АСВТ сталеалюминевые провода позволяют увеличить расстояние между опорами ВЛ на длину до 40 % от стандартного пролета, что является актуальной задачей при строительстве новых ВЛ. Для ВЛ 110 кВ расчет габаритного пролета провода АСВП 128/37 в сравнении с проводами приблизительно одинаковых сечений и диаметров (АС 120/27; ТАСР 120; АС120/19) показал, что применение провода АСВП 128/37 позволяет увеличить габаритный пролет по сравнению с проводом АС 120/27 с 212 до 294 м. При большем содержании стали (соотношение площадей алюминий/сталь у АСВП 128/37 равно 3,45 по сравнению с 4,3 у АС 120/27) провод имеет равный диаметр 15,2 мм, а его проводимость на 8 % выше.

В настоящем докладе представлен опыт создания новых проводов с инновационным дизайном для компактной линии. Созданные решения по конструкции и способам получения пластически обжатых канатов, тросов и проводов защищены охранными документами: патентами на грозозащитный трос – № 2361304, № 2490742; ОКГТ – № 2441293; сталеалюминевые провода АСВП и АСВТ – № 132241, № 2447525. Комплексное грамотное использование разработанных пластически обжатых проводов при новом строительстве и реконструкции ВЛ электропередачи 35-750 кВ может существенно повысить их надежность при воздействии всего спектра климатических нагрузок, увеличить пропускную способность, снизить капитальные и эксплуатационные затраты. В докладе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на математических и физических моделях провода и направленных на развитие инновационной конструкции проводов с лучшими эксплуатационными характеристиками.