

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИ ОБЖАТЫХ ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На правах рекламы

АВТОРЫ:

Л.М. ГУРЕВИЧ,
Д.Т.Н.,
ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ВОЛГГТУ)

В.Ф. ДАНИНКО,
К.Т.Н.,
ВОЛГГТУ

В.А. ФОКИН,
ООО «ЭНЕРГОСЕРВИС»

Инновационные продукты
для инфраструктурных
проектов, разработанные
ООО «Энергосервис»

Приведены результаты прогнозирования методами компьютерного моделирования конструктивных и технологических параметров, а также служебных свойств пластически обжатых

канатов, применяемых для воздушных линий электропередачи. Компьютерное моделирование позволяет сократить объем экспериментальных работ при создании проводов под задачи потребителя.

Ключевые слова: деформация; провод; грозозащитный трос; конструкция; компьютерное моделирование; метод конечных элементов.



ВВЕДЕНИЕ

Повышение физико-механических свойств пластически обжатых пряжей спиральных канатов с линейным касанием проволок между смежными слоями открывает широкие перспективы для расширения их области применения. Увеличение конструктивной плотности канатов ведет к повышению прочности и продольной жесткости [1]. Специалистами ООО «Энергосервис» (Москва) разработаны конструкции пластически обжатых грозозащитных тросов [2–4], сталеалюминевых [5, 6] и медных проводов ВЛ электропередачи. ОАО «Северсталь-метиз» (Волгоград) освоена технология их производства, а АО «НТЦ ФСК ЕЭС» (Москва) проведена серия НИР по экспериментальному подтверждению характеристик новых проводников.

Перспективным является применение грозозащитного троса со встроенным оптическим модулем (ОКГТ) [4]. Особенность конструкции разработанных ОКГТ (рис. 1, а) — обеспечение полосового касания проволок соседних слоев за счет кругового обжатия, позволяющее улучшить электрические контакты между проволоками и повысить устойчивость к воздействию грозового разряда.

Увеличение токовой пропускной способности ВЛ электропередачи и повышение их надежности достигается применением высокопрочных пластически обжатых сталеалюминевых проводов (АСВП) [5], отличающихся от проводов классической конструкции тем, что после свивки стальной сердечник, состоящий из центральной проволоки 1 и проволок 2, пластически обжимается, аналогичной операции подвергают и токоведущие слои из алюминиевых проволок 3–5 (рис. 1, б). В отличие от ставшего стандартным способа повышения плотности заполнения сечения проводов за счет использования профилированной проволоки

в пластически обжатых проводах АСВП используют круглые проволоки из алюминия и высокопрочной стали. При пластическом обжатии достигается плотность заполнения сечения не ниже, чем в проводах из профилированных проволок, при значительно более низких затратах на производство исходных материалов.

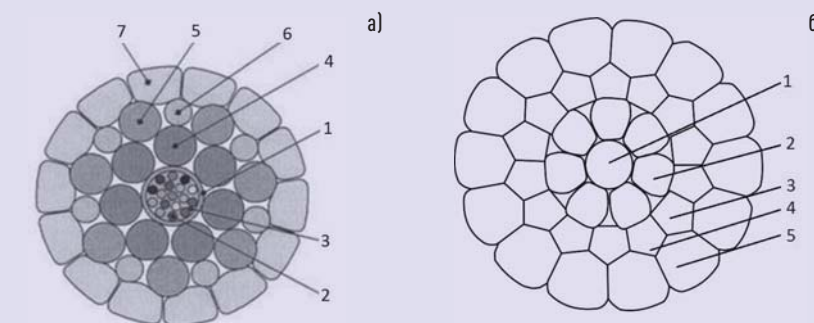
Преимущества пластически обжатых проводов доказаны испытаниями в ряде аттестованных испытательных центров. По данным ИЦ высоковольтной аппаратуры АО «НТЦ ФСК ЕЭС» пластически обжатые ОКГТ по СТО 71915393-ТУ 113-2013 обеспечивают защиту линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше от ударов молнии и позволяют организовать волоконно-оптические линии связи. При сравнительных испытаниях проводов одинакового диаметра в испытательной лаборатории ИЛ ВЭС ЭМС АО «НТЦ ФСК ЕЭС» напряжение возникновения коронного разряда за счет сглаживания профиля при пластическом обжатии у провода АСВП по СТО 71915393-ТУ 120-2013 на 5,7 % выше, чем у провода АС по ГОСТ 839-80. При нагрузке ~30%

от суммарного разрывного усилия вытяжка пластически обжатого каната примерно в четыре раза ниже, чем каната точечного касания [7]. Исключение конструктивного удлинения каната в процессе эксплуатации позволяет снизить трудоемкость работ по периодическому устранению нарушений регулировки ВЛ, непустимого изменения стрел провеса и расстояний от проводов до земли и объектов. При этом эффект краткого снижения вытяжки не зависит от материала пластически обжатого изделия: от стали (испытания в НИР АО «НТЦ ФСК ЕЭС») до меди (испытания в АО «ВНИИЖТ»).

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРОВОДОВ

Использование компьютерного моделирования позволяет не только улучшить понимание процессов, происходящих при производстве и эксплуатации проводов, но и оптимизировать их конструкцию применительно к запросам потребителя,

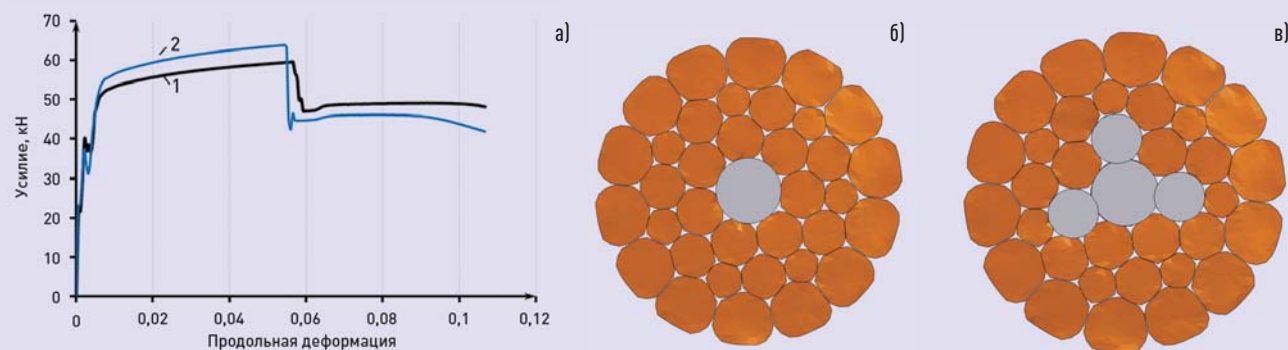
СТРУКТУРА ПЛАСТИЧЕСКИ ОБЖАТЫХ ТРОСА ОКГТ (А) И ПРОВОДА АСВП (Б)



а) 1 — центральная трубка; 2 — гидрофобный наполнитель; 3 — оптическое волокно; 4 — проволоки 1-го слоя; 5, 6 — проволоки 2-го слоя; 7 — проволоки 3-го слоя
б) 1 — центральная проволока; 2 — проволоки 1-го слоя; 3, 4 — проволоки 2-го слоя; 5 — проволоки 3-го слоя

Рис. 1

ДИАГРАММЫ «УСИЛИЕ — ДЕФОРМАЦИЯ» ПРИ РАСТЯЖЕНИИ (А) ДЛЯ МЕДНОГО НЕСУЩЕГО ПРОВОДА СО СТАЛЬНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ ОДНОЙ (Б) И ЧЕТЫРЕХ (В) СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК



1 — стальной сердечник из одной проволоки; 2 — стальной сердечник из четырех проволок

Рис. 2

значительно сократить трудоемкость работ по освоению производства продукции.

Использование методов конечно-элементного (МКЭ) моделирования позволило:

- оптимизировать геометрические размеры элементов ОКГТ и АСВП, технологические параметры пластического деформирования, обеспечивающие необходимую степень заполнения сечения;
- обеспечить целостность волокон оптического модуля при обжатии [8];
- установить распределение температурных полей по сечению ОКГТ при различных длительности и силы тока коротких замыканиях [9].

Проведенное МКЭ моделирование электромагнитных и тепловых эффектов при прохождении переменного тока в сталеалюминевых проводах показало, что, вопреки закреплению в НТД мнению, на-

правление свивки алюминиевых проволок при четном количестве повивов практически не влияет на выделение теплоты в стальном сердечнике, а формирование электрических контактов высокой проводимости между проволоками в результате пластического обжатия позволяет снизить на 10% тепловыделение в стальном сердечнике сталеалюминевых проводов типа АСВП [10] по сравнению с традиционными проводами АС.

2D моделирование показало, что при близкой допустимой токовой нагрузке снижение ветрового давления на провод АСВП составляет 25-40% относительно стандартного АС.

МКЭ моделирование позволяет обоснованно оптимизировать конструкцию пластически обжатых канатов линейного касания для повышения разрывной прочности при заданных габаритах. Существующие в литературе рекомендации по выбору конструкции канатов из металлических проволок достаточно противоречивы и направлены в основном на до-

стижение максимальной плотности укладки проволок [11, 12, 13]. Однако такой подход можно поставить под сомнение, так как согласно [14] при растяжении стальных канатов первыми теряют свою целостность наиболее короткие центральные проволоки прядей. Проведенное моделирование обжатия в роликовых волокнах и последующего растяжения спроектированных по традиционным рекомендациям стальных и медных проводов с центральным стальным сердечником показало близкий характер изменения зависимости «усилие — деформация»: первоначально при увеличении деформации наблюдается почти линейный рост необходимого усилия (рис. 2б, кривая 1, рис. 2а), сопровождающийся небольшой пластической деформацией наружных витков и значительной распределенной деформацией центральной проволоки. Начало формирования шейки и последующий разрыв центральной проволоки приводит к замедлению роста необходимого для растяжения усилия, а затем и к его снижению. Увеличение диаметра центральной

проволоки по сравнению с проволоками спиральных повивов при сохранении габаритов каната может приводить только к снижению разрывного усилия. Замена трех медных проволок первого повива стальными (рис. 2в) позволило повысить разрывное усилие провода на 5 кН (кривая 2, рис. 2а). Результаты МКЭ моделирования показали, что для еще большего повышения разрывного усилия канатов и проводов можно использовать вместо одной центральной проволоки свитый из трех или четырех проволок меньшего диаметра сердечник, что обеспечивает: сближение значений деформаций витого сердечника и проволок следующих повивов; возможность использования более тонких проволок сердечника с повышенным классом прочности. Выполненные в ОАО «ВНИИЖТ» испытания показали, что оптимизированный с использованием конечно-элементного моделирования пластически деформированный медный несущий трос МК-120-ВСМ-4 значительно превосходит по прочностным характеристикам несущие тросы из бронз БрБ1 и БрБ2. Аналогичные результаты получены АО «НТЦ ФСК ЕЭС» для других пластически деформированных проводников ООО «Энергосервис».

Оптимизированные с помощью компьютерного моделирования 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 проволок из бронз, увеличивающих электрические потери, обладает целым рядом преимуществ: низкой амплитудой и интенсивностью золовой пляски; низкой вероятностью обрыва после механических

повреждений в результате внешних воздействий; высокой усталостной прочностью металла троса; увеличением жизненного цикла за счет самогашения колебаний; хорошими аэродинамическими характеристиками, уменьшением налипания снега и образования наледи на более гладкую конструкцию; устойчивостью к коррозии.

Результаты моделирования позволили создать:

- одобренный ОАО «РЖД» компактированный несущий медный провод МК-120-ВСМ-4 для высокоскоростных железнодорожных магистралей диаметром 14 мм с разрывным усилием 83 кН [15];
- стальной грозотрос диаметром 24 мм с разрывным усилием 700 кН.

ВЫВОДЫ

В результате серии НИР, включающих в себя моделирование и натурные испытания изделий в АО «НТЦ ФСК ЕЭС» и АО «ВНИИЖТ», подтвердивших расчетные характеристики, практически создана система оперативного конструирования проводников под требования эксплуатирующих организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Ф. Даненко. Исследование сопротивления деформации растяжения стального каната одинарной свивки после кругового пластического обжатия / В.Ф. Даненко, Л.М. Гуревич // Сталь. — 2016. — №3 — С. 38–41.
2. Пат. 2361304 РФ. Грозозащитный трос / В.В. Петрович, В.А. Фокин, А.К. Власов, В.И. Фролов, А.В. Звягинцев, А.Н. Жулев; опубл. 10.07.2009. Бюл. № 19.
3. Пат. 2490742 РФ. Способ изготовления стального троса / В.А. Фокин, А.К. Власов, В.И. Фролов; опубл. 20.08.2013. Бюл. № 23.
4. Пат. 2441293 С1 РФ, МПК H01B 11/22. Грозозащитный трос с оптическим кабелем

- связи / А.К. Власов, В.А. Фокин, В.В. Петрович, В.И. Фролов; заявлено 03.11.2010, опубл. 27.01.2012. Бюл. № 3.
5. Пат. 132241 РФ. Сталеалюминевый провод для воздушной линии электропередачи / В.А. Фокин, А.К. Власов, В.В. Петрович, А.В. Звягинцев, В.И. Фролов; опубл.: 10.09.2013. Бюл. № 25.
6. Пат. 2441293 РФ. Грозозащитный трос с оптическим кабелем связи / А.К. Власов, В.А. Фокин, В.В. Петрович, В.И. Фролов; опубл.: 27.01.2012. Бюл. № 3.
7. Анализ целесообразности применения в качестве оттяжек опор воздушных линий пластически деформированных стальных тросов / Л.В. Тимашова, А.С. Мерзлякова, И.А. Назаров, В.А. Фокин // Энергия единой сети. — 2016. — №1. — С. 68–69.
8. Моделирование процесса обжатия грозозащитного троса с оптическим модулем / Л.М. Гуревич, В.Ф. Даненко, Д.В. Проничев, М.Д. Трунов // Энергия единой сети. — 2015. — №4. — С. 58–61.
9. Моделирование температуры и плотности тока в грозозащитном тросе при прохождении тока короткого замыкания / Л.М. Гуревич, В.Ф. Даненко, Д.В. Проничев, М.Д. Трунов // Энергия единой сети. — 2014. — №5. — С. 16–23.
10. Л.М. Гуревич. Моделирование электромагнитных потерь в сталеалюминевых проводах различной конструкции / Л.М. Гуревич, В.Ф. Даненко, Д.В. Проничев, М.Д. Трунов // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. — 2014. — №5. — С. 68–71.
11. В.А. Мусихин. Геометрическое построение оптимальной конструкции стального спирального каната // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2007. — №. 14 (86). — С. 21–26.
12. Е.А. Калентьев, В.В. Тарасов, В.Н. Новиков. Развитие метода синтеза геометрии канатов линейного касания // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2010. — Т. 12. — №. 1-2. — С. 374–376.
13. К.В. Михайлов. Проволочная арматура для предварительно напряженного железобетона / К.В. Михайлов. — М.: Стройиздат, 1964. 190 с.
14. Ю.А. Гурьянов. Влияние межструктурного сдвига на прочность стальных канатов / Ю.А. Гурьянов // Сталь. — 1990. — № 10. — С. 76–79.
15. Пат. 171205 РФ. Несущий усиленный трос контактной сети железной дороги / В.А. Фокин, Л.М. Гуревич, А.К. Власов, В.И. Фролов; опубл.: 24.05.2017, Бюл. № 15.