

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПЛОТНОСТИ ТОКА В ГРОЗОЗАЩИТНОМ ТРОСЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

АВТОРЫ:

ГУРЕВИЧ Л.М.,
Д.Т.Н.,
ВОЛГОГРАДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ДАНЕНКО В.Ф.,
К.Т.Н.,
ВОЛГОГРАДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПРЕНИЧЕВ Д.В.,
К.Т.Н.,
ВОЛГОГРАДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ТРУНОВ М.Д.,
ВОЛГОГРАДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Статистика аварий в энергосистемах: 75-80 % аварийных отключений вл. электропередачи связаны с грозовыми отключениями

В последние годы волоконно-оптические линии связи находят всё более широкое применение в реконструируемых и строя-

щихся ЛЭП. Практика показала, что наилучшим решением является установка грозозащитных тросов со встроенным оптоволоконном.

Ключевые слова: грозозащитный трос, оптический кабель связи, цинковое покрытие, алюминиевое покрытие, температура, ток короткого замыкания, моделирование.



ВВЕДЕНИЕ

Волоконно-оптические линии связи по сравнению с выполненными на основе медных проводников кабелями связи обладают целым рядом преимуществ: скорость передачи информации порядка 1Тбит/с; затухание до 0,22 дБ/км, что позволяет строить линии связи длиной до 100 км без регенерации сигналов. Начиная с середины 90-х годов прошлого века в Российской Федерации начался процесс масштабного внедрения современных волоконно-оптических технологий. Наряду со стандартными волоконно-оптическими кабелями (ВОК) передачи информации, в виде диэлектрических самонесущих кабелей, широкое применение получили также грозозащитные тросы, изготовленные из стальных проволок с различными покрытиями, содержащие модуль из нержавеющей стали, внутри которого в полужидком гидрофобном геле располагаются оптические волокна (ОКГТ). Подобная конструкция обеспечивает необходимую механическую прочность и является продуктом двойного назначения: выполняет традиционную функцию защиты линии электропередачи от ударов молнии и используется как кабель связи и передачи данных. ОКГТ прокладывается на опорах линий электропередачи и облегчает строительство волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в труднодоступных местах и переходах.

При этом ОКГТ должны удовлетворять традиционным требованиям, предъявляемым ОАО «ФСК ЕЭС» к грозозащитным тросам (механическая прочность, коррозионная стойкость, устойчивость к разрядам молнии, золовой вибрации, пляске, а также стойкость к токам короткого замыкания (КЗ)). В частности, в соответствии с СТО 56947007-29.060.50.015-2008 ТТ ОАО «ФСК ЕЭС», грозозащитный трос должен быть стоек:

- к воздействию импульса грозового разряда молнии, величина которого определяется районом его подвески в соответствии с требованием потребителя и устанавливается изготовителем, но не менее 85 Кл;
- к термическому воздействию тока КЗ, возникающего в процессе эксплуатации при однофазных и двухфазных замыканиях на землю, величина и время которого устанавливаются изготовителем расчетным путем.

Используемая в повивах ОКГТ стальная проволока должна быть защищена от коррозии, поэтому применяются цинковые или алюминиевые покрытия, существенно более устойчивые к окислению, чем стальной сердечник. Проводимость плакированных проволок выше, а прочность зачастую не ниже, чем у аналогичных стальных проволок. Иногда для снижения удельного сопротивления троса в него дополнительно вводят алюминиевые проволоки. Стойкость к коррозии и удельная электропроводность алюминиевого покрытия несколько выше, чем цинкового. Этот факт послужил основой для встречаемой в литературе рекомендации использовать в ОКГТ проволоку с алюминиевым покрытием. Однако такие покрытия обладают рядом недостатков. Контакт нержавеющей стали и алюминия при эксплуатации на открытом воздухе становится причиной активной коррозии: выпадающие из атмосферы соли и химические загрязнения, помет птиц на поверхности металла работают как электролит, что существенно ускоряет процесс разрушения алюминия [1]. Поэтому в последней редакции международного стандарта IEEE-1138-2009 были внесены изменения (п.5.4.2), в соответствии



IV
Открытый
шахматный турнир
энергетиков
памяти М. М. Ботвинника

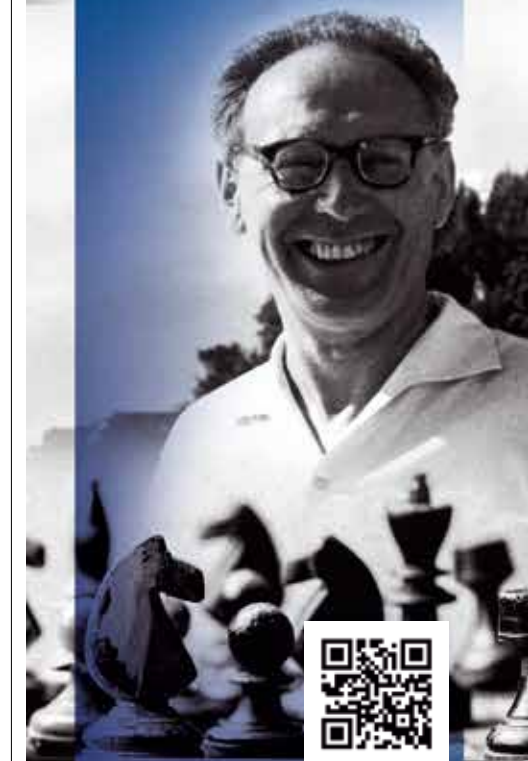
2014

ноябрь 2014 года, г.Москва,
конференц-зал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Вот уже в четвертый раз пройдет открытый шахматный турнир в память о великом шахматисте и талантливым энергетике Михаиле Ботвиннике.

Состоится личное и командное первенство по правилам ФИДЕ для быстрых шахмат.

ПРИГЛАШАЕМ КОМАНДЫ ЭНЕРГЕТИКОВ
ПОДДЕРЖАТЬ НАШУ ДОБРУЮ ТРАДИЦИЮ
И ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В ЕЖЕГОДНОМ
ОТКРЫТОМ ШАХМАТНОМ ТУРНИРЕ!



Условия участия в турнире на сайте
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» <http://www.ntc-power.ru>

с которыми в районах с повышенной коррозионной активностью (к которым можно отнести все промышленные и густонаселенные районы) совместное использование в ОКГТ оптического модуля из нержавеющей стали и проволок с алюминиевым покрытием запрещено. Кроме того, при сравнительных испытаниях на стойкость к удару молнии зарядом до 110 Кл, проведенных на испытательном стенде «Генератор тока молнии четырехкомпонентный» (ГТМ-4) в МЭИ, при одинаковых растягивающих усилиях наиболее поврежденные получил грозозащитный трос 9,1-ГТК ТУ 35000-001-86229982-2010 (производитель ООО «ЭМ-Кабель», г. Саранск) из стальной проволоки, плакированной алюминием [2]. Образцы после испытаний находились в неудовлетворительном состоянии: имелись глубокие оплавления и обрывы проволок, поэтому этот трос нельзя считать стойким к воздействию тока молнии с переносимым зарядом 81 Кл и более.

Проводимые на кафедре ТВН МЭИ с начала 90-х годов аттестационные испытания на стойкость к разрядам молнии образцов ОКГТ, имеющих в конструкции проволоки из алюминиевого сплава для обеспечения требований по термической стойкости к токам КЗ, показали, что образцы при испытаниях повреждались с полным обрывом проволок из алюминиевого сплава при зарядах молнии значительно меньших, чем для стальных проволок (практически все проволоки из алюминиевого сплава повреждались при зарядах молнии более 15 Кл) [3].

В работе [5] показано, что увеличение степени преформации проволок при свивке и пластическое обжатие канатов линейного касания обеспечивают высокую стойкость к воздействию прямых ударов молнии,

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОКГТ

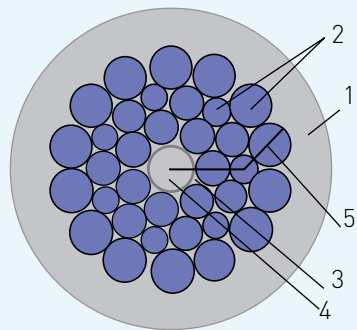


Рис. 1 1 – воздух; 2 – стальная проволока; 3 – центральная трубка; 4 – оптические волокна в гидрофобном геле; 5 – линия, вдоль которой приведены данные на рис. 2

механическую прочность, снижение относительного удлинения при эксплуатационных нагрузках, а также стойкость к эоловой вибрации, галопированию и токам КЗ по сравнению с традиционно используемыми для молниезащиты ЛЭП стальными канатами точечного касания. В результате кругового пластического обжатия каната круглое поперечное сечение проволок каната становится фасонным, а линейное касание заменяется касанием по плоскости. Это ведет к повышению конструктивной плотности и, как следствие, к увеличению суммарной поверхности теплопередачи грозозащитного троса.

При использовании ОКГТ возникает задача расчета его термической прочности. Причем должна обеспечиваться не только остаточная механическая прочность троса, но и эффективный отвод тепла от оптического модуля. Правила проектирования ВОЛС на воздушных линиях электропередачи [4] требуют анализа:

- термической стойкости оптического грозозащитного троса при воздействии токов КЗ;
- наведенного электрического напряжения на тросе;
- прямых ударов молнии в трос.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методом моделирования термической стойкости грозозащитного троса с оптическим кабелем связи при прохождении тока короткого замыкания провести сравнительный анализ тросов с различными покрытиями стальной проволоки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе термической стойкости ОКГТ были выполнены следующие вычисления:

- нестационарного магнитного поля, вызванного импульсом переменного тока частотой 50 Гц и длительностью до 1 с, с целью получения распределения плотности тока в каждом из проводников троса в зависимости от времени;
- нестационарного температурного поля, использующего в качестве источника теплоты джоулевы потери.

Для моделирования применяли схему грозозащитного троса [6, 7] марки ОКГТ 11,0/Е1(12)-С-МЗ-В-ОЖ-МК-Н-Р-180 (трос молниезащитный диаметром 11,0 мм со встроенным оптическим кабелем

связи, число оптических волокон – 12, марки В – повышенного качества, из оцинкованной проволоки по группе ОЖ, малокрутящиеся, нераскручивающиеся, рихтованные, маркировочной группы 180 кгс/мм², выпускаемого ОАО «Северсталь-метиз» по техническим условиям ТУ СТО 71915393-ТУ 113-2013 (рис. 1). Центральная трубка диаметром 2,2-2,4 мм с оптическими волокнами изготовлена из нержавеющей стальной полосы толщиной 0,203 мм. Диаметр стальных проволок первого повива 1,65 мм, второго – 1,65 и 1,25 мм, третьего – 1,95 мм.

В процессе термического анализа сравнивали четыре возможных варианта покрытия поверхности стальной проволоки:

- стальные проволоки с цинковым покрытием группы ОЖ (соответствует реально выпускаемому ОАО «Северсталь-метиз» ОКГТ по СТО 71915393-ТУ 113-2013);
- стальные проволоки без покрытия;
- стальные проволоки с алюминиевым покрытием, толщина которого соответствует цинковому покрытию группы ОЖ;
- стальные проволоки с алюминиевым покрытием с объемным содержанием алюминия до 25%.

Для моделирования использовали пакет программ COMSOL Multiphysics, способный решать дифференциальные уравнения в частных производных, с модулями Magnetic Fields и Heat Transfer in Solids. В связи с тем что дифференциал температур вдоль оси ОКГТ невелик, теплопередача вдоль оси пренебрегалась и использовалась плоская схема 2D.

ФРАГМЕНТ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТКИ МОДЕЛИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ НАЛИЧИЕ НА ПРОВОЛОКАХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЦИНКА (АЛЮМИНИЯ)

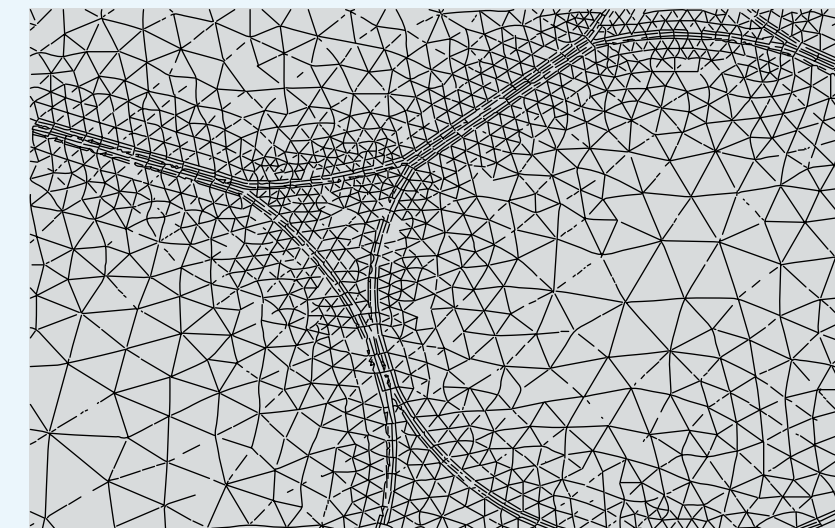


Рис. 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА КРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ($J_{КЗ} = 4300$ А, $T = 1$ с) ВДОЛЬ ЛИНИИ, ПРОХОДЯЩЕЙ ЧЕРЕЗ ОСИ ПРОВОДНИКОВ

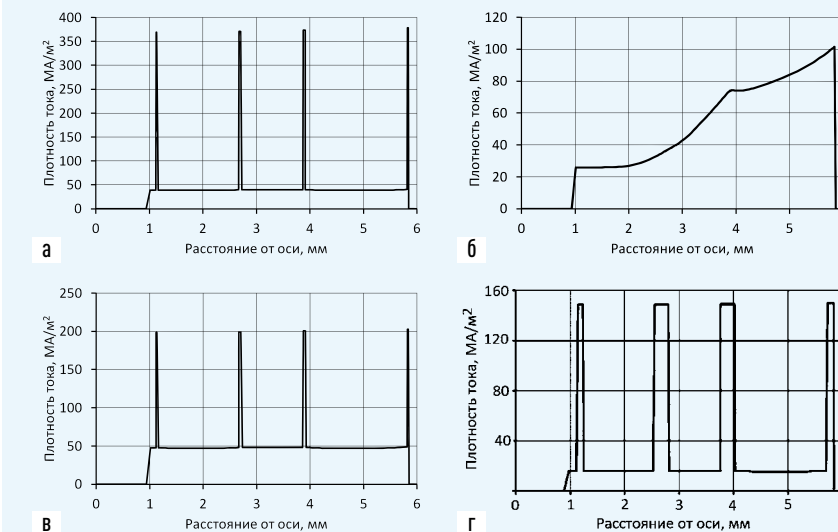


Рис. 3 а – цинковое покрытие, б – стальные проволоки без покрытия, в и г – алюминиевое покрытие толщиной соответственно 20 и 260 мкм

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВДОЛЬ ЛИНИИ, ПРОХОДЯЩЕЙ ЧЕРЕЗ ЦЕНТРЫ ПРОВОДНИКОВ ПРИ ТОКЕ КЗ $J_{кз} = 4,3$ КА

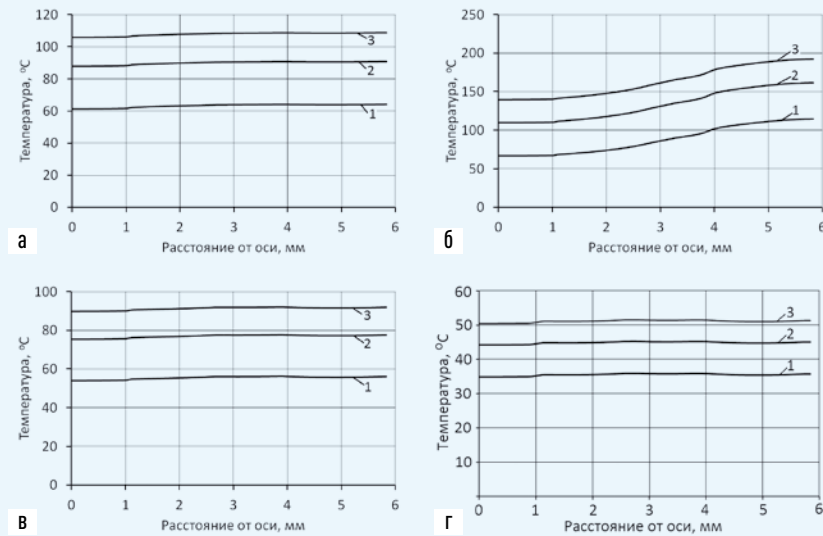


Рис. 4 а – цинковое покрытие, б – стальные проволоки без покрытия, в и г – алюминиевое покрытие толщиной соответственно 20 и 260 мкм; 1 – $t = 0,5$ с; 2 – 0,8 с; 3 – 1,0 с

Нагрев моделировался на основе следующих зависимостей:

– закон Ампера–Максвелла (1)

$$(j\omega\sigma - \omega^2\epsilon_0\epsilon_r)A + \nabla \chi$$

$$(\mu_0^{-1}\mu_r^{-1}\nabla \chi A - M) = J_e,$$

где A – векторный потенциал электромагнитного поля, M – вектор намагниченности, j – плотность тока, σ – электропроводность, ω – угловая частота, ϵ_0 и μ_0 – соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемость вакуума, J_e – плотность тока от внешних источников, ϵ_r и μ_r – соответственно относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость среды, –

∇ – оператор Набла; ток, текущий по проводам (2)

$$I = \int J_e dS,$$

где S – площадь нормального сечения элемента; стационарное уравнение теплопроводности

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \chi (k \nabla T) + Q$$

где ρ и C_p – соответственно плотность и теплоемкость материала, Q – мощность внутренних источников теплоты, складывающаяся из индуктивных потерь Q_i и потеря на сопротивление Q_r , T – температура, t – время, k – коэффициент теплопроводности; тепловой поток на внешних границах кабеля

(граничные условия для уравнения теплопроводности) $q = \alpha(T_{вн} - T)$, где α – коэффициент теплоотдачи, зависящий от ряда факторов (скорость и направление ветра, степень черноты провода и др.), принят $\alpha = 5$ Вт/(м²×К), $T_{вн}$ – температура окружающего провод воздуха, принята равной 20 °С.

Слои цинка и алюминия заданвались отдельными составляющими, покрытыми, как и другие элементы, конечно-элементной сеткой (рис. 2).

Результаты моделирования были верифицированы по экспериментальным данным натуральных испытаний ОКГТ диаметром 11,0 мм в Испытательном центре высоковольтной аппаратуры ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», показавшим, что при прохождении тока короткого замыкания 4,3 кА в течение 1 с температура троса повышалась в среднем на 88 °С.

Расчет температурного поля проводили при времени протекания тока КЗ от 0 до 1 с (интервал в 0,1 с). Величину тока КЗ варьировали от 3,6 до 4,3 кА. В связи с тем что центры проволок не лежат на одной прямой, распределение плотности токов (рис. 3) и температуры (рис. 4) приведено вдоль ломаной директории, показанной на рис. 1.

На рис. 3 и 4 видно, что использование цинкового (рис. 3 а) или алюминиевого (рис. 3 в, г) покрытия приводит к преимущественному протеканию тока в этих покрытиях, плотность тока в которых соответственно в 4 и 9 раз превышает плотность тока в сердечниках из углеродистой стали. Различия в плотности тока в покрытиях проволок наружного и внутренних повивов незначительны. Такое изменение

ТЕМПЕРАТУРА НА ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЛИЧИНАХ ТОКА КЗ

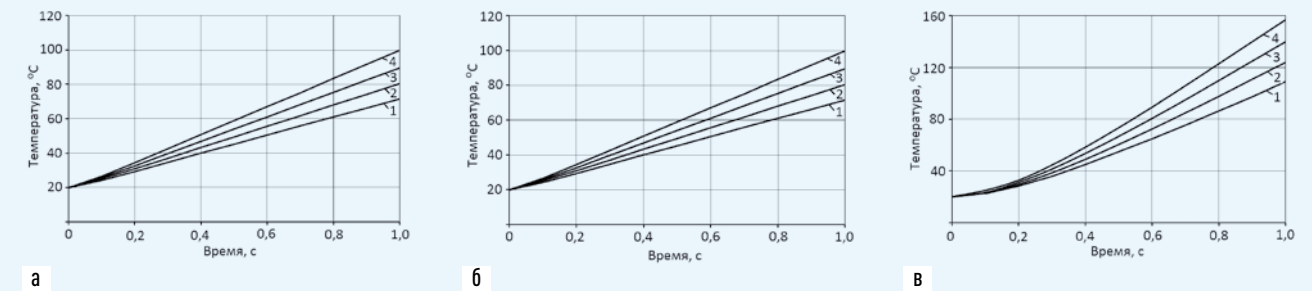


Рис. 5 а – цинковое покрытие, б – алюминиевое покрытие толщиной 20 мкм, в – стальные проволоки без покрытия, 1 – 3,7 кА; 2 – 4,0 кА; 3 – 4,3 кА; 4 – 4,6 кА

распределение тока привело к снижению градиента температур в грозозащитных тросах из плакированных проволок до 2–4 °С (рис. 4 а, б). При одной и той же величине тока КЗ ($J_{кз} = 4,3$ кА, $t = 1$ с) использование цинкового покрытия позволило снизить температуру в районе оптического модуля на 35 °С, а в наружном повиве – на 83 °С. В грозозащитном тросе из стальных проволок без покрытия плотность тока в проводах повышается по мере удаления от оси троса (рис. 3 б), что и приводит к заметному росту температуры в проволоках наружного повива (рис. 4 б). Применение алюминиевого покрытия толщиной 20 мкм с повышенной электропроводностью позволяет дополнительно снизить температуру в районе оптического модуля на 15 °С, однако в случае как цинкового, так и алюминиевого покрытия значения температур лежат в безопасном диапазоне и не приводят к ухудшению оптических свойств оптоволокон. Для сравнения, СТО 56947007-29.060.50.122-2012 ОАО «ФСК ЕЭС» [8] предусматривает повышение температуры ОКГТ на +80 °С при плавке гололеда в течение до 1 ч. Увеличение при моделировании толщины алюминиевого покрытия до значений, обеспечивающих объемное содержание 25

% (рис. 4 г), давало при выбранных значениях тока КЗ 4300 А повышение температуры только до 52 °С. Такое объемное содержание алюминия является избыточным с точки зрения обеспечения температурной стабильности при токе короткого замыкания 4,3 кА и может быть целесообразным при необходимости токов короткого замыкания 6,2–6,3 кА.

Использование пакета программ COMSOL Multiphysics позволило также моделировать изменение температуры грозозащитного троса с различными покрытиями проволок при варьировании значений тока КЗ (рис. 5) с целью определения диапазона безопасных значений токов и времени срабатывания защитной аппаратуры. Как и при $J_{кз} = 4,3$ кА, максимальные значения температур в области оптического модуля и проволок наружного повива наблюдаются при отсутствии коррозионностойкого (цинкового или алюминиевого) покрытия.

Результаты моделирования показали, что использование в конструкции грозозащитных тросов проволок с хорошо освоенным отечественной промышленностью цинковым покрытием обеспечивает при про-

хождении токов КЗ в заявляемом изготовителем диапазоне снижение температуры на поверхности оптического модуля до безопасных значений, не влияющих на оптические характеристики оптического волокна. Алюминиевое покрытие проволок позволяет дополнительно снизить температуру, но его применение сопряжено с рядом негативных факторов: отсутствие массового отечественного производства алюминированной проволоки нужных диаметров; низкая коррозионная стойкость алюминированного покрытия на границе с нержавеющей трубкой оптического модуля; низкая стойкость грозозащитных тросов с алюминиевым покрытием при ударах молнии.

При выборе материала покрытия проволок ОКГТ зачастую не анализируется зависимость активного удельного сопротивления троса от вида покрытия. Для ОКГТ рассматриваемого размера в случае использования стальных проволок без покрытия значение удельного сопротивления $R = 3,1$ Ом/км, с цинковым покрытием $R = 2,2$ Ом/км, с алюминиевым покрытием $R = 1,9$ Ом/км. Ток троса I_t (слева I_{tn} и справа I_{tm}) от точки КЗ включает следующие вынужденные и активные составляющие:

РАСЧЕТ ПОГОННОЙ И УДЕЛЬНОЙ НАГРУЗОК В ОКГТ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА, ВЕСА ГОЛОЛЕДА И ДАВЛЕНИЯ ВЕТРА

Наименование нагрузки	ОКГТ с оцинкованными проволоками		ОКГТ с алюминированными проволоками	
	погонная нагрузка, н/м	удельная нагрузка, МПа/м	погонная нагрузка, н/м	удельная нагрузка, МПа/м
от собственного веса	6,82	0,0815	5,05	0,0604
от веса гололеда	19,11	-	19,11	-
от давления ветра при гололеде	24,72	-	24,72	-
результатирующая от собственно-го веса, веса гололеда и давления ветра при гололеде	40,22	0,6415	39,11	0,6238

Таблица 1

индуктивную $I_{инд.ф.}$, обусловленную индуктивной связью между фазными проводами и тросом; индуктивную $I_{инд.з.т.}$, обусловленную индуктивной связью между током земли и тросом; наложенную $I_{налож.}$ определяемую растеканием тока I_k от точки КЗ по контурам, включающим ОКГТ и смежные опоры [9]. Составляющую $I_{инд.з.т.}$ из-за малости обычно не учитывают. При расчете на термическую устойчивость ОКГТ из стальных проволок без покрытия обычно пренебрегают также $I_{инд.ф.}$, имеющей существенное значение только для сталеалюминиевых проводов или других проводов с высокой проводимостью. Величина активной составляющей тока $I_{налож.}$ во многом зависит от сопротивлений пролетов и заземлений опор. Снижение активного удельного сопротивления грозозащитного троса при замене цинкового покрытия на алюминиевое неизбежно приведет к росту вынужденной и активной составляющих тока КЗ, что может нивелировать определяемые при лабораторных исследованиях и моделировании более низкие значения температурных полей в грозотросе из стальных проволок с алюминиевым покрытием по сравнению с цинковым покрытием.

Дополнительно оценим изменение прочностных характеристик и критической стрелы прогиба для ОКГТ конструкции 1Х36 (Т+7/7+14) Ø 11 мм производства Волгоградского филиала «Северсталь-Метиз» в случае замены стальной оцинкованной проволоки маркировочной группы 1770 МПа на алюминированную стальную с объемным содержанием алюминия 25% (без других изменений конструкции грозозащитного троса). Расчетная площадь сечения всех проволок в существующей конструкции ОКГТ 83,59 мм², ориентировочная масса 1000 м смазанного грозотроса 695 кг и суммарное разрывное усилие всех проволок – не менее 147 кН [7]. После изменения конструкции масса ОКГТ снизится до 515 кг. Предел прочности алюминированной стальной проволоки обим определяется следующим образом $\sigma_{бим} = \sigma_{ст} (1 - V_{Al}) + \sigma'_{Al} V_{Al}$, где $\sigma_{ст}$ – предел прочности стального сердечника, σ'_{Al} – напряжение в алюминированном покрытии при деформации разрушения стального сердечника (принимается равным пределу текучести алюминия – 60 МПа), V_{Al} – объемное содержание алюминия. В случае использования стального сердечника с $\sigma_{ст} = 1770$ МПа прочность алюми-

нированной стальной проволоки $\sigma_{бим}$ составляет 1342 МПа, а суммарное разрывное усилие всех проволок – не более 112 кН.

При использовании ОКГТ в районах 3 групп по ветровому давлению (1 раз в 25 лет ветровое давление до 0,67 кПа) и по гололеду (1 раз в 25 лет нормативная толщина стенки гололеда до 20 мм) расчет в соответствии с ПУЭ-7 приводит к следующим значениям единичных и удельных нагрузок (табл. 1).

При длине пролета $l = 300$ м минимально допустимая стрела провисания в условиях действия ветровой и гололедной нагрузок при допустимых напряжениях в грозозащитном тросе, равных 50% временного сопротивления проволоки, составляет 8,15 м для ОКГТ из оцинкованного стального провода и 10,46 м для ОКГТ из алюминированного стального провода. Таким образом, использование при изготовлении ОКГТ алюминированной проволоки с высоким объемным содержанием алюминия приводит к значительному снижению несущей способности троса, не компенсируемой уменьшением его погонной массы.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика моделирования распределения плотности тока и температуры по сечению ОКГТ, выпускаемого по ТУ СТО 71915393-ТУ 113-2013, верифицированная по результатам натурных испытаний в ИЦ ВА ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС».

2. Использование стальных проволок с цинковым покрытием в ОКГТ с пластически деформированным наружным слоем позволило при прохождении гарантируемого тока КЗ 4,3 кА в течение 1 с снизить температуру на поверхности оптического модуля на 35 °С по сравнению с тросом из стальных проволок без покрытия. Полученные значения температур не приводят к ухудшению оптических свойств оптоволоконного троса.

3. Алюминиевое покрытие проволок позволяет дополнительно снизить температуру, но его применение сопряжено с рядом негативных факторов: низкая коррозионная стойкость алюминированного покрытия в зоне контакта с нержавеющей трубкой оптического модуля; низкая стойкость грозозащитных тросов с алюминиевым покрытием при ударах молнии.

4. При выборе вида защитного покрытия стальных проволок необходимо учитывать не только возможное изменение температурных полей в ОКГТ при одинаковых значениях тока КЗ, но и зависимость его величины от удельного сопротивления грозозащитного троса, а также стойкость к воздействию тока молнии, коррозионную стойкость и несущую способность троса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов, Б. Особенности выбора оптического кабеля для воздушных линий электропередачи / Б. Л. Трофимов, Д. М. Инденбаум // Энергетика и промышленность России, 2012, № 12 (200). – С.29.

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. Механошин Б. И. Комплексный подход к обеспечению грозозащитности ВЛ / Б. И. Механошин, О. И. Богданова, М. З. Гилязов, Д. А. Матвеев. – Сб. мат. III Российской конференции по молниезащите. Санкт-Петербург, 22-23 мая 2012 г. <http://lightningprotection.ru/wp-content/uploads/Конференция-22-23-мая-2012.pdf>

4. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. – М.: РАО «ЕЭС России», 1999. – 108 с.

5. Власов, А. К. 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.

6. Пат. 2441293 С1 РФ, МПК H01B 11/22. Грозозащитный трос с оптическим кабелем связи / Власов А. К., Фокин В. А., Петрович В. В., Фролов В. И. заявлено 03.11.2010, опубл. 27.01.2012. Бюл. № 3.

7. СТО 71915393-ТУ 113-2013. Северсталь-Метиз. «Канаты стальные (грозотрос) для защиты воздушных линий электропередач от прямых ударов молнии. Технические условия». Волгоград, – 2008.

8. СТО 56947007-29.060.50.122-2012 ОАО «ФСК ЕЭС» «Руководство по расчету режимов плавки гололеда на грозозащитном тросе со встроенным оптическим кабелем (ОКГТ) и применению распределенного контроля температуры ОКГТ в режиме плавки». Дата введения: 18.05.2012. – ОАО «ФСК ЕЭС» 2012. – 119 с.

9. Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи. М.: Энергосетьпроект, 1976.

ПРОСТЫЕ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОБЛЕМ



НАША ПРОДУКЦИЯ:

- Грозозащитный трос, сохраняющий все исходные свойства после удара молнии 147 Кл
- Грозозащитный трос с оптическим кабелем связи (ОКГТ), сохраняющий полную работоспособность после удара молнии 110Кл
- Провода сталеалюминиевые АСВП и АСВТ для воздушных линий электропередач 35 – 750 кВ могут привести к 25% экономии затрат в проекте в связи с меньшим количеством опор
- Медный несущий трос контактной сети железных дорог с прочностью бронзового



Награждены дипломом Министерства энергетики РФ за активное участие в составе российской экспозиции в технической выставке CIGRE-2014