

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ГРОЗОТРОСЕ ДВУХЦЕПНОЙ ВЛ 220 КВ НАВЕДЕННЫМИ ТОКАМИ БЕЗ ЕЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ

АВТОРЫ:

Е.А. КРОТКОВ,
ФГБОУ ВО «САМГТУ»

А.А. ЩОБАК,
ФГБОУ ВО «САМГТУ»

Для предотвращения гололедообразования на ЛЭП достаточно профилактического обогрева грозозащитных тросов.

Для этого на проводах и тросах необходимо обеспечить превышение температуры проводов и тросов на 5 °С относительно окружающей среды.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи; грозозащитный трос; наведенный ток; профилактический обогрев; гололедообразование; плавка гололеда.



Гололедно-ветровые аварии сопровождаются многочисленными обрывами проводов и тросов, поломкой деревянных, железобетонных и металлических опор, массовыми отключениями ВЛ всех классов напряжения и нарушением энергоснабжения потребителей в особо крупных масштабах с соответствующим ущербом во всех отраслях народного хозяйства и коммунально-бытовой сфере

КРАТКИЙ ОБЗОР СТАТЕЙ, ПОСВЯЩЕННЫХ ОБОГРЕВУ ГРОЗОТРОСОВ ВЛ 220–500 КВ

Борьба с гололедообразованием на ЛЭП 220 кВ и выше, которой в специальной литературе уделяется большое внимание [1–4], является важной задачей с точки зрения устойчивого функционирования Единой энергосистемы России (ЕЭС России).

Основными способами борьбы с гололедообразованием на проводах воздушных линий электропередачи (ВЛ) и грозозащитных тросах (ГЗТ) являются плавка гололеда и механическое удаление гололедно-изморозевых отложений (ГИО).

Для предотвращения образования ГИО достаточно применения профилактического обогрева ГЗТ [3]. Для этого на проводах и ГЗТ ВЛ необходимо обеспечить превышение температуры провода и ГЗТ относительно окружающей среды на 5 °С при скорости ветра 3 м/с [5]. В статье С.С. Шовкопляса [6] предлагается использование способа профилактического обогрева ВЛ 330–500 кВ с горизонтальным расположением фаз без ее отключения на ГЗТ, заземляемых на опорах ЛЭП, токами, индуктированными уравновешенной системой токов нагрузки в фазных проводах. В статье Засыпкиных [7] предлагается использовать для цепи ВЛ в схемах с заземленным ГЗТ включение пассивного двухполюсника для увеличения тока, вызывающего профилактический обогрев.

Таким образом, существующие способы профилактического обогрева предусмотрены преимущественно для одноцепных ВЛ определенной в указанных статьях конфигурации с заземлением ГЗТ. Совместное ис-

пользование системы профилактического обогрева и плавки гололеда на отдельных участках ЛЭП для разных погодных условий может давать наибольшую эффективность борьбы с образованием ГИО.

АКТУАЛЬНОСТЬ ОБОГРЕВА ГЗТ НА ЛЭП 220 КВ ДЛЯ УЧАСТКОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ГОЛОЛЕДОБРАЗОВАНИЮ

Анализ статистики гололедообразования на ВЛ 220–500 кВ в электрических системах России [8] показал, что в осенне-зимнем периоде 2019/2020 гг. 10,6 % всех плавков гололеда на проводах ВЛ и ГЗТ в сетях 220–500 кВ ЕЭС России являлись неуспешными, что обусловило необходимость проведения дополнительных плавков или отключений ВЛ для ремонта в целях механического удаления ГИО.

Известно [9–12], что образование гололеда на ВЛ 220–500 кВ происходит не по всей длине, а на отдельных ее участках. В этом случае плавка гололеда по всей длине является избыточным мероприятием. В частности, в операционной зоне (ОЗ) Средней Волги наиболее подвержены гололедообразованию Приволжская и Бугульминско-Белебейская возвышенности, районы водохранилищ Жигулевской и Саратовской ГЭС, городов Сызрань, Вольск, а линии 220–500 кВ, как правило, имеют большую протяженность, чем обозначенные участки.

Стоит отметить и то, что ГЗТ более подвержен гололедообразованию, так как в нем в нормальном режиме протекают токи, которые на порядок меньше токов нагрузки в проводах ВЛ. В ОЗ Средней Волги схем пла-

ОПОРА ЛЭП 220 КВ П220-2

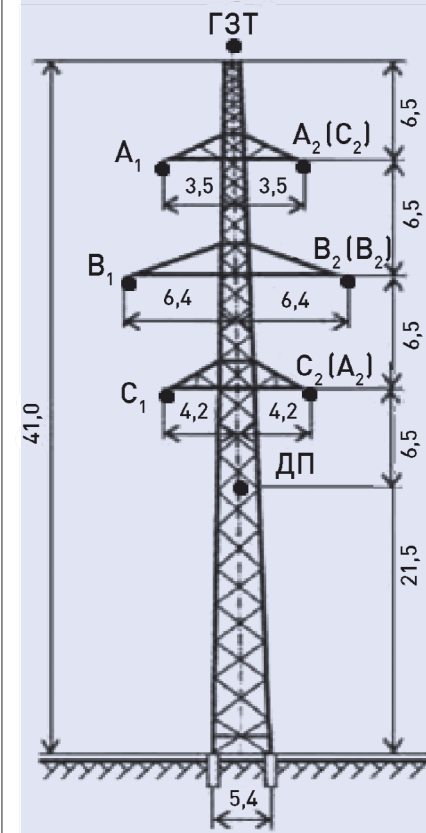


Рис. 1

вок гололеда на ВЛ почти в 2,5 раза меньше, чем на ГЗТ, что подчеркивает актуальность исследования.

ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ВЛ 220 КВ: ОПОРЫ, МАРКИ ГЗТ, ДЛИНЫ УЧАСТКОВ, ФАЗИРОВКИ ЦЕПЕЙ

В ОЗ Средней Волги распространено применение двухцепных ВЛ 220 кВ.

В качестве примера рассмотрим наиболее распространенный тип опор П220–2 [13] (рис. 1). Это металлическая промежуточная двухцепная опора с одним ГЗТ. Фазировка цепей смежных фаз применяется как одноименная (A1, B1, C1; A2, B2, C2), так и разноименная (A1, B1, C1; C2, B2, A2).

В качестве ГЗТ применяется трос марки ГТК20–0/50–9,1/60. Согласно данным завода-изготовителя [14], приняты следующие технические характеристики: радиус ГЗТ (r) — 4,55 мм; активное сопротивление (R) — 1,719 Ом/км.

ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, СПОСОБА ОБОГРЕВА ГЗТ ВЛ 220 КВ, СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ, ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

Для предотвращения образования гололеда на двухцепных ВЛ 220 кВ предлагается сформировать замкнутый и изолированный от земли в нормальном режиме контур ГЗТ-ДП, состоящий из ГЗТ и дополнительного проводника (ДП), подвешенного на изоляторах ниже проводов нижних фаз (рис. 1).

В качестве ДП предлагается использовать трос марки ГТК20–0/50–9,1/60, длина которого (l) составляет 1000 м. Наведенное напряжение в контуре ГЗТ-ДП является результатом электростатического и электромагнитного взаимодействия фазных проводников. Составляющая тока взаимной индукции много больше емкостной [15, 16], поэтому далее в расчетах ею пренебрегаем.

СХЕМА ПРЕДЛАГАЕМОГО СПОСОБА В ОБЩЕМ ВИДЕ

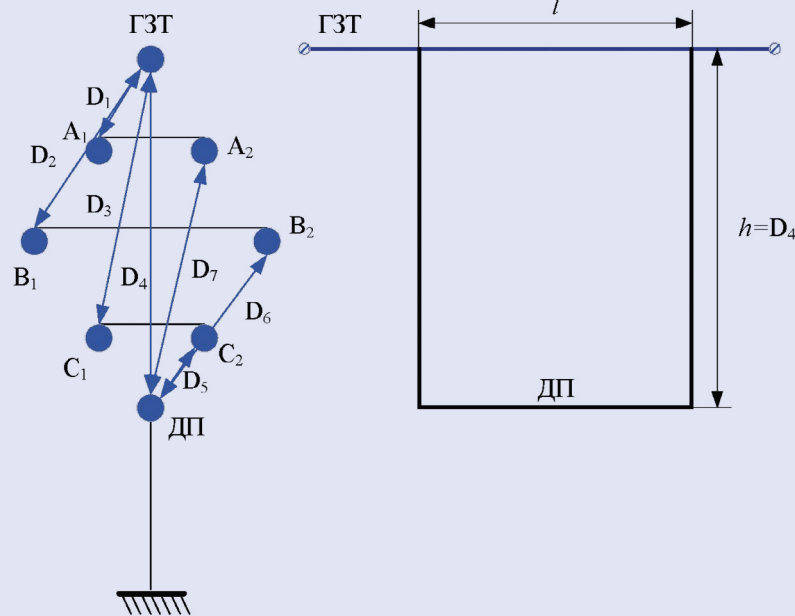


Рис. 2

На рис. 2 расстояние до цепей фаз от ГЗТ и провода принимается симметричным, т. е., например, расстояние от ГЗТ до фазы A1 и до фазы A2 одинаково и равно D_1 . ГЗТ и ДП соединены одножильным изолированным кабелем, проложенным по конструкции опоры ВЛ 220 кВ.

Уравнение Максвелла [17], составленное для системы проводов и ГЗТ, имеет вид:

$$-\frac{du}{dx} = z_T I_{ГЗТ} + z_{ТП} I_{ДП}, \quad (1)$$

где I_n — ток в проводе, А;

$I_{ГЗТ}$ — ток в тросе, А;

Z_T — сопротивление троса, Ом;

$Z_{ТП}$ — сопротивление взаимной индукции между проводом и тросом, Ом;

l — длина рассматриваемого участка ВЛ, км.

Для изолированного троса $I_{ГЗТ} = 0$. Выразим наведенное напряжение на ГЗТ:

$$U_{ГЗТ} = \int_0^l z_{ТП} I_{ДП} dx. \quad (2)$$

Тогда для нормального режима работы ВЛ 220 кВ полное сопротивление контура с проводом и ГЗТ будет определяться как:

$$Z_K = R_K + jX_K = l((R_{ГЗТ} + R_{ДП}) + j0,145lg \frac{D_4}{R_{ЭКВ}}), \quad (3)$$

где $R_{ГЗТ}$ и $R_{ДП}$ — удельные значения активных сопротивлений ГЗТ и дополнительного провода соответственно, Ом/км;

D_4 — расстояние между проводом и ГЗТ;

$R_{ЭКВ}$ — эквивалентный радиус поперечного сечения провода, равный $R_{ЭКВ} = 0,779r$ (r — радиус провода);

$X_K = j0,145lg \frac{D_4}{R_{ЭКВ}}$ — индуктивное сопротивление контура.

Схема замещения контура ГЗТ-ДП представлена на рис. 3.

Находим значения наведенных напряжений в ГЗТ и дополнительном проводнике ($\dot{U}_{ГЗТ}$ и $\dot{U}_{ДП}$):

$$\dot{U}_{ГЗТ} = j0,145 I_1 l (a^2 lg \frac{D_2}{D_1} + a lg \frac{D_3}{D_1}) + j0,145 I_2 l (a^2 lg \frac{D_2}{D_1} + a lg \frac{D_3}{D_1}); \quad (4)$$

$$\dot{U}_{ДП} = j0,145 I_1 l (a^2 lg \frac{D_5}{D_4} + a lg \frac{D_6}{D_4}) + j0,145 I_2 l (a^2 lg \frac{D_5}{D_4} + a lg \frac{D_6}{D_4}), \quad (5)$$

где I_1 и I_2 — токи, протекающие в цепях двухцепной ВЛ;

a — оператор поворота вектора, $a = e^{+j120} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$.

По закону Ома находим наведенный ток циркуляции в контуре:

$$\dot{I}_{Ц} = \frac{\dot{U}_{ГЗТ} + \dot{U}_{ДП}}{Z_K}. \quad (6)$$

ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР РАСЧЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ТОКА В КОНТУРЕ С СУММАРНОЙ ДЛИНОЙ ГЗТ И ДП, РАВНОЙ 1 КМ, ДВУХЦЕПНОЙ ВЛ 220 КВ

Для опоры, приведенной на рис. 2, значения расстояний будут такими:

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ КОНТУРА ГЗТ-ДП

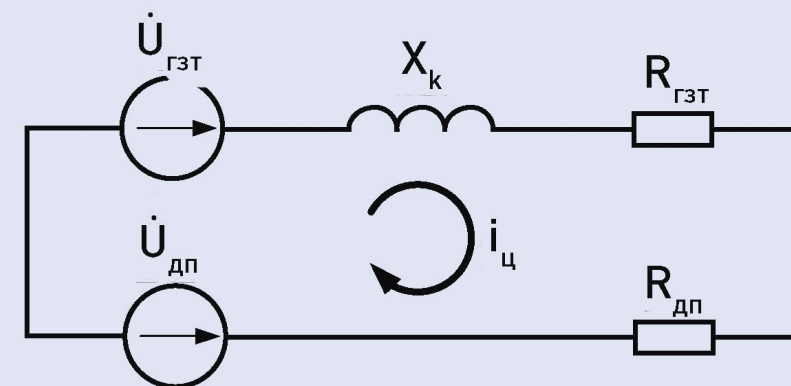


Рис. 3

$D_1 = 7,382$ м; $D_2 = 14,49$ м;

$D_3 = 19,947$ м; $D_5 = 7,739$ м;

$D_6 = 14,49$ м; $D_7 = 19,812$ м.

Значение сопротивления (3) составляет:

$$Z_K = 3,438 + j560,5.$$

Значения наведенных напряжений в проводе и ГЗТ по формулам (4) и (5) с учетом величин токов $I_1 = 600$ А и $I_2 = 600$ А, протекающих в цепях двухцепной ВЛ при одноименной фазировке цепей, составят:

$$\dot{U}_{ГЗТ} = -2,092 \cdot 10^4 - j6,304 \cdot 10^4 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{ДП} = -2,047 \cdot 10^4 - j5,922 \cdot 10^4 \text{ В}.$$

Наведенный ток циркуляции в контуре по формуле (6) будет равен:

$$\dot{I}_{Ц} = -218,561 + j72,504,$$

или по модулю $|\dot{I}_{Ц}| = 230,3$ А.

Активная мощность, выделяемая в контуре ГЗТ-ДП суммарной длиной l , равной 1 км, при протекании тока $I_{Ц}$ составит:

$$P_K = I_{Ц}^2 (R_{ГЗТ} + R_{ДП}) l = 182,3 \text{ кВт}. \quad (7)$$

По данным расчета, на активном сопротивлении ГЗТ двухцепной ВЛ 220 кВ будет выделяться мощность 180 Вт/м, что обеспечит возможность предотвращения образования гололеда [5].

ИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

1.3. Наиболее эффективным средством борьбы с гололедом является плавка гололеда. Она позволяет в короткий срок удалить гололед.

1.4. При проектировании ВЛ, трассы которых проходят в районах гололедности, а также в районах интенсивной и частой пляски проводов, плавку гололеда рекомендуется предусматривать на проводах линий напряжением до 220 кВ включительно. Плавка гололеда на тросах должна предусматриваться в тех случаях, когда возможно опасное приближение освободившихся от гололеда проводов к тросам, покрытым гололедом.

ИЗ СТАНДАРТА ОАО «ФСК ЕЭС»

Грозозащитные тросы для воздушных линий электропередачи 35–750 кВ

3. Термины и определения, обозначения и сокращения

3.1. Грозозащитный трос (ГТ) — элемент ВЛ, предназначенный для защиты ВЛ от прямых ударов молнии. Трос заземляется или изолируется от тела опоры (земли) и располагается над проводами фаз, полюсов. Грозозащитные тросы являются стальными канатами или сталеалюминевыми скрученными проводами. Стальные грозозащитные тросы характеризуются сечением стали S ст. Сталеалюминевые грозозащитные тросы характеризуются отношением сечения алюминия к сечению стали Sal./Сст.

3.2. Оптический кабель, встроенный в грозозащитный трос (ОКГТ) — элемент ВЛ, предназначенный для защиты ВЛ от прямых ударов молнии и передачи информации по оптическим волокнам. ОКГТ состоит из одного или нескольких концентрических повивов стальных или стальных и алюминиевых проволок и содержит в своей конструкции оптические волокна. Эти волокна заключены в пластиковые, алюминиевые или стальные трубки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный способ позволяет обеспечить величину выделяемой активной мощности, достаточную для предотвращения образования ГИО на поверхности ГЗТ, при этом величина наведенного тока не зависит от длины обогреваемого участка ГЗТ двухцепной ВЛ.

Приведенный численный расчет позволяет сделать вывод о возможности применения предлагаемого способа для борьбы с гололедообразованием на ГЗТ двухцепных ВЛ 110—220 кВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол от 30.10.2020 № АН-271–1 пр Всероссийского видеоселекторного совещания «О ходе подготовки субъектов электроэнергетики и объектов ЖКХ к прохождению отопительного сезона 2020–2021 годов», Москва.
2. Ратушняк В.С. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ [Электронный ресурс]/В.С. Ратушняк, Е.С. Ильин, О.Ю. Вахрушева//Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. 2018. № 1. Режим доступа: <http://mnv.irkgups.ru/toma/11-2018>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус., англ. (дата обращения 11.04.2021).
3. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах: учеб. пособие/И.И. Левченко, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, Е.И. Сацук/Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006.
4. Кувшинов А.А., Хренников А.Ю., Карманов В.Ф., Ахметжанов Н.М. Удаление гололедных отложений с проводов ВЛ. Преимущества современных полупроводниковых систем//Новости электротехники. 2016. № 4 (100). С. 2–5.
5. Мамин Ф.Н. О тепловом режиме плавки гололеда на проводах и тросах горных линий электропередачи//Ветровые и гололедные воздействия на конструкции горных ВЛ: Сб. научных трудов./ЭНИН им. Г.М. Кржижановского. М.: 1988, с. 150–155.
6. Шовкоплас С.С. Способ предотвращения гололедообразования на грозозащитных тросах воздушной линии электропередачи сверхвысокого напряжения наведенными токами без вывода ее из работы//Энергетик. 2018. № 8. С. 13–20.
7. Засыпкин А.С., Засыпкин А.С., мл. Профилактический обогрев грозозащитных тросов воздушных линий наведенным током//Изв. вузов. Электромеханика. 2018. Т. 61. № 2. С. 99–106.
8. Кротков Е.А., Щобак А.А. Гололедообразование на ВЛ 220–500 кВ в электрических системах России/Кибернетика энергетических систем: Сб. материалов XLII международной научно-технической конференции, г. Новочеркасск, 24–26 ноября 2020 г. /Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ).
9. Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008.
10. Эксплуатация воздушных линий электропередачи/В.Н. Андриевский и др. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1976.
11. Хренников А.Ю. Высоковольтное электроэнергетическое оборудование в электроэнергетических системах: диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг. Учеб. пособие: магистратура. М.: ИНФРА-М, 2019.
12. Khrennikov A.Yu., Kuvshinov A.A., Shkuropat I.A. Providing Reliable Operation of Electric Networks//Nova science publishers. New York, 2019. P. 308. ISBN: 978–1–53615–422–1. URL: <https://novapublishers.com/shop/providing-reliable-operation-of-electric-networks/>
13. ООО «Энергостальконструкция» — завод металлоконструкций [Электронный ресурс]: завод-изготовитель, Екатеринбург: [Электронный ресурс]. [2021]. URL: <http://www.ural-esk.ru/p220-2.html> (дата обращения 11.04.2021).
14. ООО «ЭМ-КАБЕЛЬ» — предприятие по изготовлению изделий и технологических материалов для кабельной продукции, Саранск: [Электронный ресурс] [2021]. <https://emcable.ru/produkcija/grozozashitnyj-tros-korroziionnostojkij/>(дата обращения 11.04.2021).
15. Мельников Н.А., Гершенгорн А.И., Шеренцис А.Н. О системе заземления тросов длинных линий электропередачи//Электричество. 1958. № 1. С. 25–30.
16. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330–500 кВ/Под общ. ред. С.С. Рокотяна. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1974.
17. Избранные вопросы математической теории электрических магнитных явлений: Г.А. Гринберг. М.: Книга; Изд. Академии наук СССР, 1948.

26.11.2021
Онлайн на платформе lichess.org



XI

Открытый шахматный турнир энергетиков памяти М.М. Ботвинника



2021

**ШАХМАТНЫЙ
ТУРНИР
ЭНЕРГЕТИКОВ**

Приглашаем команды энергетиков поддержать нашу добрую традицию и принять участие в ежегодном открытом шахматном турнире!

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

НАБИРАЙТЕ ЧЕТЫРЕХ ИГРОКОВ И РЕГИСТРИРУЙТЕ КОМАНДУ НА САЙТЕ ТУРНИРА WWW.TURNIR.NTC-POWER.RU

