

УДК 621.315.1

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ахмедова О.О., Сошинов А.Г., Панасенко М.В.

Камышинский технологический институт (филиала) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: kti@kti.ru

В статье произведен анализ воздействия электромагнитного поля на образование гололедных отложений на воздушных линиях электропередачи. Значительная часть линий на территории страны подвержена локальному гололедообразованию, когда на отдельных участках появляются критические гололедные нагрузки, а на других меньше или вообще отсутствуют. Эффективность плавки гололеда на линии в первую очередь появляется от уменьшения времени на предотвращение и ликвидацию гололедных аварий. Анализ мер борьбы с гололедно-изморозевыми отложениями на проводах ВЛ электропередачи, позволяет сделать вывод, что экономичнее не допускать опасных отложений, чем потом бороться с образованием гололеда, поэтому возникла необходимость проанализировать основные факторы влияющие на образования гололеда. Электрическое поле провода ВЛ электропередачи переменного тока оказывает вполне определенное влияние на атмосферный водный аэрозоль.

Ключевые слова: образование гололеда, воздушные линии электропередачи, электромагнитное поле

ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD EFFECT ON GLAZE-ICE ACCRETION FORMATION ON OVERHEAD POWER LINES

Akhmedova O.O., Soshinov A.G., Panasenko M.V.

Kamyshinsky institute of technology (branch) of federal public budgetary educational institution of higher education «Volgograd state technical university», Kamyshin, e-mail: kti@kti.ru

The article analyzes the impact of electromagnetic fields on the formation of glaze-ice deposits on overhead power lines. A significant part of lines in the country is subject to local icing when in some areas there are critical ice loads, while in others they are smaller or absent at all [7]. The ice melting effectiveness on the line in the first place becomes apparent due to a decrease of the time needed to prevent and eliminate icing accidents. Analysis of measures to combat glaze-ice accretion on overhead power line wires enables us to conclude that it is more economical to prevent harmful accretions than to fight against ice formation, so it was necessary to analyze the main factors affecting ice formation. The electric field of a HV ac power line wire has a quite definite influence on the atmospheric water aerosol.

Keywords: ice formation, overhead power lines, electromagnetic field

Анализ статистических данных показывает, что к числу причин гололедных аварий на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) относятся серьёзные недостатки в проектировании, сооружении и эксплуатации ВЛ, в гололедных районах, что требует разработки специальных мероприятий. Подавляющее число аварий произошло не только при больших, но и при меньших, чем расчетные нагрузках ВЛ, где не проводилась или запоздала плавка гололеда. Значительная часть линий на территории страны подвержена локальному гололедообразованию, когда на отдельных участках появляются критические гололедные нагрузки, а на других меньше или вообще отсутствуют [8]. Эффективность плавки гололеда на линии в первую очередь появляется от уменьшения времени на предотвращение и ликвидацию гололедных аварий. Анализ мер борьбы с гололедно-изморозевыми отложениями на проводах ВЛ электропередачи, позволяет сделать вывод, что экономичнее не допускать опасных отложений, чем потом бороться с образованием

гололеда, поэтому возникла необходимость проанализировать основные факторы влияющие на образования гололеда [1]. Электрическое поле провода воздушной линии электропередачи переменного тока оказывает вполне определенное влияние на атмосферный водный аэрозоль.

Факторы, влияющие на процесс гололедообразования

Причина появления гололеда – конденсация имеющихся в воздухе паров на охлажденных поверхностях элементов сооружений. На проводах и конструкциях контактной сети отложение гололедных образований наблюдается обычно при неустойчивой погоде, когда оттепель сменяется похолоданием, в туманную погоду или при выпадении переохлажденного дождя. Различают три основных вида гололедных образований: гололед, представляющий собой плотное твердое прозрачное или полупрозрачное вещество плотностью 600–900 кг/м³; изморозь – кристаллический налет плотностью

20–100 кг/м³ и смесь, образующуюся при на-слоениях гололеда и изморози, плотностью 200–600 кг/м³ [3].

Гололед, изморозь и смесь, как прави-ло, образуются при ветре со скоростью до 10–15, реже 20–25 м/с и температуре – 5 °С. Форма сечения гололедных образований на проводах разнообразна. Чаще всего встре-чается эллиптическая форма, когда голо-ледные образования находятся в основном с одной стороны провода. Плотность голо-леда – случайная величина.

Основные факторы, влияющие на про-цесс образования гололедно-изморозевых отложений, представлены на рис. 1.

замерзания переохлаждённых капель воды различного размера, образующих отложе-ния на каком-либо объекте, определяется температурой поверхности этого объекта и температурой воздуха, а также размером самих капель. Следовательно, все указан-ные факторы влияют на структуру, а значит и на плотность образовавшегося осадка [4].

Ветер играет немаловажную роль в фор-мировании структуры отложения. При опре-деленных условиях он может способство-вать слиянию мелких капель в крупные, содействия растеканию капель по поверх-ности предмета, и напротив, дроблению крупных капель на более мелкие.



Рис. 1. Структурная схема факторов, действующих на гололедно-изморозевые отложения

Верхняя группа факторов имеет ве-роятностный характер, так как связана с погодными условиями, нижняя группа связана с режимом работы электроуста-новки, конструкцией, наличием защит-ных средств, поэтому данные факторы могут либо способствовать образованию гололедно-изморозевых отложений, либо препятствовать.

От температуры воздуха зависит не только образование того или иного вида обледенения, но и продолжительность про-цессов, что имеет большое значение. По-нижение температуры воздуха в процессе обледенения способствует длительному сохранению льда на проводах, в результате чего при ветре возникает вибрация и пляска проводов, отмечаются случаи их обрыва. Большое влияние температура воздуха оказывает на плотность отложений. Время

Гололед преимущественно (около 30%) образуется при скорости ветра от 2 до 4 м/с. Для зернистой изморози характерно более равномерное распределение вероятности образования при скоростях ветра в интервале от 1 до 8 м/с. Мокрый снег и кристаллическая изморозь чаще всего образуются при затишье (40–50%), а сложные отложения, так же как и гололедец, наиболее часто наблюдаются при скорости ветра от 2 до 4 м/с (34%). Максимальные скорости ветра при начале обледе-нения проводов могут достигать 15 м/с. [6].

Большое влияние на характер и массу го-лоледных отложений оказывают параметры воздушной линии. При высоте подвеса провoда в слое от 2 до 20 м масса гололедных отло-жений увеличивается в 3 раз, с увеличением диаметра провода в зависимости от скорости ветра масса гололедных отложений сначала возрастает, достигая максимума, и далее по-

степенно уменьшается. Еще одним фактором, определяющим характер гололедных отложений является закручивание проводов, зависящее от их «жесткости». Во время интенсивных отложений односторонний осадок на жестких стержнях периодически обрушивается под действием собственной массы и ветра, не достигая максимально возможных значений, тогда как на одиночном проводе или тросе, вследствие его закручивания, образуется устойчивая муфта, которая постоянно растет в течении активной фазы гололедного процесса. Закручивание проводов приводит не только к образованию устойчивой муфты, но и значительно увеличивает стадию сохранения осадка на проводах. При этом возможно неоднократное отложение осадка на предыдущий при длительных процессах с чередующимися стадиями гололедообразования или при нескольких процессах, следующих друг за другом с перерывами. На закручивающихся проводах осадок может в течении длительного времени расти и достигать очень больших значений – 10–20 кг/м и более. На жестких стержнях за это время фиксируется несколько гололедных процессов с массой осадка, как правило, не превышающей 0,5 кг/м. Таким образом, влияние закручивания проводов на форму и на массу отложения исключительно велико [5].

Действие электрического поля провода в настоящее время не учитывается при определении гололедных нагрузок на провода линий электропередачи.

При напряженности электрического поля, когда не создается общая корона, возможность взаимодействия поля провода с каплями тумана или мороси может быть вызвана двумя причинами [2]. Во первых, капли могут иметь положительный заряд, взаимодействующих с полем провода, тогда сила определяется законом Кулона:

$$F_3 = E \cdot q \quad (1)$$

где F_3 – Кулоновская сила взаимодействия, Н; E – напряженность электрического поля в данной точке, В/м; q – заряд капли, Кл.

Величина заряда капли снижается при отрицательных температурах, кроме того, при переменном напряжении сила притяжения каждый полупериод меняет знак, вследствие чего результирующий эффект будет весьма не значительным и не может иметь практического значения.

Вторым фактором, является её поляризация в электрическом поле провода, сила взаимодействия которой определяется выражением:

$$F_3 = 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^3 \cdot \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \right) \cdot grad E^2 \quad (2)$$

где r – радиус капли, м; E – напряженность поля в данной точке, В/м; ε_0 – относительная диэлектрическая постоянная, Ф/м; ε – диэлектрическая проницаемость капли.

При переменном напряжении диполь меняет полярность в соответствии с направлением поля, а сила остаётся направленной всегда в одну сторону, притягивая каплю. Совершенно другой характер процесса имеет место при напряженности поля, превосходящей значение, соответствующее появлению общей короны $E > E_{кр}$. В данном случае провод окружен коронным чехлом, за пределами которого локализуется пространственный заряд ионов. В случае короны постоянного тока капля, попав в область пространственного заряда, приобретает заряд, одноимённый по знаку с коронирующим проводом, и отталкивается от него [2]. Зависимость массы гололедных отложений от напряженности, без учёта воздействия ветра представлена на рис. 2.

Повышение напряжения существенно уменьшает количество капель, оседающих на проводе. Современные линии электропередачи работают при напряженностях поля, значительно меньших значения $E_{кр}$, соответствующего появлению общей короны. При соответствии напряженности воздушных линий стандартам, её можно определить:

$$E = \frac{U}{R_1 \cdot \ln(R_2/R_1)} \quad (3)$$

где U – напряжение провода, кВ; R_1 – радиус провода, м; R_2 – радиус заземленного контура, м.

Объемная масса осадка на проводе с напряжением существенно меньше, чем на проводе без напряжения ($\rho_0 = 900$ кг/м³ при $U_2 = 0$ и $\rho_0 = 600 \dots 700$ кг/м³ с напряжением) [8]. Уменьшение объёмной массы объясняется повышенным содержанием капель малого размера, осаждающихся на проводе с напряжением, следовательно, под действием электрического поля наиболее интенсивно притягиваются капли малого размера.

Определим увеличение массы гололедно-изморозевых отложений на проводе с напряжением по сравнению с проводом без напряжения:

$$K_3 = 1 + k \cdot E_{cp} \quad (4)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий массу гололедно-изморозевых отложений с учетом напряженности провода; E_{cp} – среднее значение напряженности провода; k – коэффициент, зависящий от размеров капель, участвующих в гололедообразовании, способности провода к закручиванию, степени развития процесса.

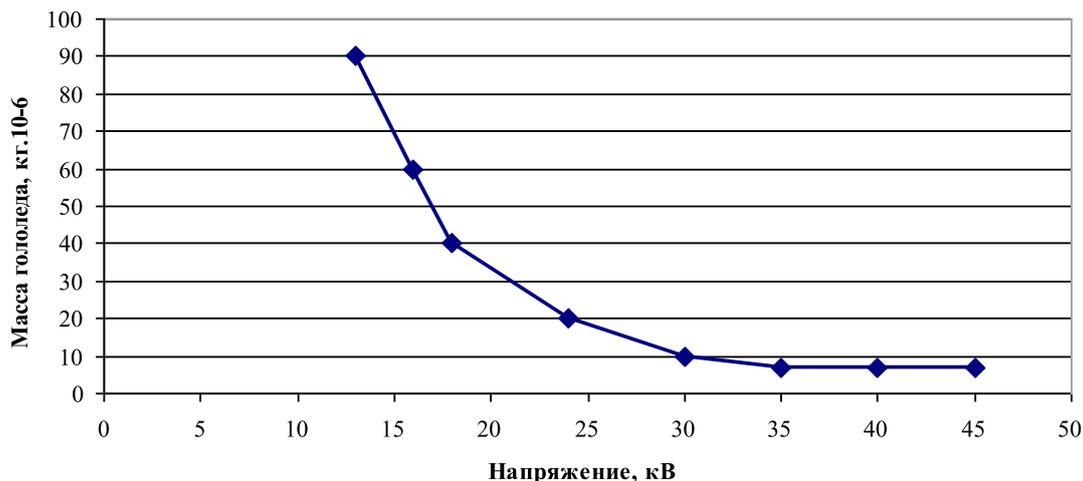


Рис. 2. Зависимость массы гололеда, образующегося на проводе по напряжению постоянного тока

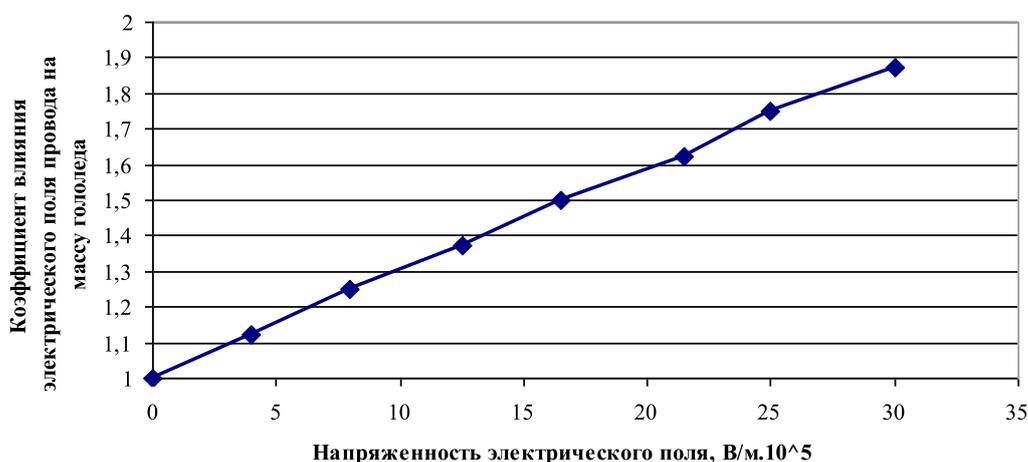


Рис. 3. Зависимость влияния напряженности электрического поля переменного тока на провода АС-120 от образования массы гололеда

На рис. 3 представлена зависимость влияния напряженности электрического поля переменного тока на провода АС-120 от образования массы гололеда.

При изменении скорости ветра от 3 до 10 м/с значение K_3 заметно не уменьшается, но при скорости до 12...15 м/с действие электрического поля начинает ослабевать. Действие электрического поля провода не является единственным фактором, влияющим на процесс обледенения, по мере нарастания гололедной муфты уменьшается напряженность на её поверхности, следовательно с развитием процесса обледенения влияние электрического поля провода должно ослабевать [7].

Влияние электрического поля на массу гололеда на проводе определяется:

$$K_3 = m_3 / m_0 \quad (5)$$

где K_3 – коэффициент влияния электрического поля провода на массу гололеда; m_3 – масса отложения на проводе с напряжением, кг; m_0 – масса отложения на проводе без напряжения, кг.

Выводы

В начале процесса в обоих случаях гололедная муфта диаметром D равна диаметру провода d , а различие в интенсивности приращения массы обусловлено влиянием напряженности электрического поля. Большая интенсивность приращения массы на проводе с напряжением будет способствовать ускоренному росту D , что в свою очередь вызовет еще больший рост интенсивности при-

ращения массы, следовательно, в этот период m_3 увеличивается быстрее m_0 и K_3 растёт, несмотря на уменьшения напряжённости электрического поля на поверхности осадка. Чем больше напряжённость электрического поля, тем интенсивнее увеличивается размер гололедной муфты на проводе с напряжением, в результате максимум K_3 получается больше и достигается быстрее.

Список литературы

1. Внедрение автоматизированной системы наблюдения за гололедом в Камышинских электрических сетях / Шевченко Н.Ю., Лебедева Ю.В., Хромов Н.П., Сошинов А.Г. // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 5 – С. 127–132.
2. Воробьёв А.А., Богданова Н.Б. Осаждение влаги на коронирующих проводах // Журнал технической физики. – 1948. – № 9. – т. XVIII.
3. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах / Левченко И.И., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Сацук Е.И. – М.: «Издательский дом МЭИ», 2007. – 448 с.
4. Мероприятия по снижению гололедно-ветровых аварий в электрических сетях / М.В. Панасенко, Н.Ю. Шевченко, Н.П. Хромов, А.Г. Сошинов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 8. – С. 30–37.
5. Никандров В.Я. К вопросу о зарядке частиц облаков и туманов // Тр. ГТО им. Воейкова. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – № 57(119).
6. Николаев Н.Я. Траектории полета водного аэрозоля вблизи потенциального провода. Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 1999.
7. Николаев Н.Я. Движение частиц водного аэрозоля вблизи проводов ВЛ электропередачи // Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1991. – С. 47–54.
8. Повышение эффективности воздушных линий электропередачи напряжением 110–220 кВ в гололедных районах. Монография / Г.Г. Угаров, Н.Ю. Шевченко, Ю.В. Лебедева, А.Г. Сошинов. – М.: Перо, 2013. – 187 с.