ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ СВОБОДНО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ИМИТАТОРА ПРОВОДА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ*

АВТОРЫ:

А.С. ТЮФТЯЕВ,
Д.Т.Н.,
ФГБУН «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РАН»

М.Х. ГАДЖИЕВ,
К.Ф.-М.Н.,
ФГБУН «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РАН»

А.В. ЧИСТОЛИНОВ,
ФГБУН «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РАН»

П.А. КОНОВАЛОВ,
ФГБУН «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РАН»

Гололедообразование на проводах ВЛ возможно в период с октября по апрель. Оно происходит на границе теплой и холодной масс воздуха, где возникает конденсация влаги в виде капель мороси размером 5–30 мкм.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи; гололедообразование; скручивание проводов; гололедное отложение.

Гололедные образования на проводах ЛЭП нередко приводят к тяжелым по своим последствиям авариям

* Работа выполнена в рамках Госзадания ОИВТ РАН № АААА-А16-116051810076-6.

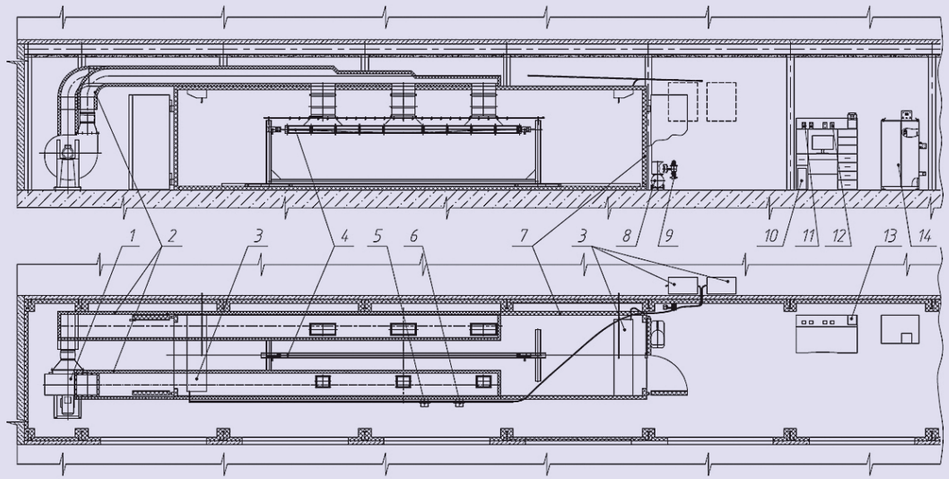
ВВЕДЕНИЕ

Гололедные образования на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) нередко приводят к авариям, наиболее тяжелым по своим последствиям, так как при этом возможны обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и даже опор ВЛ. Периодическая дезорганизация электроснабжения регионов и восстановление ВЛ, поврежденных гололедом, требует значительных усилий и финансовых затрат.

Обледенение возникает в основном из-за воды, находящейся в атмосфере в парообразном и жидком состояниях при отрицательных температурах воздуха и увеличении его влажности до 60–100 %. Многие вопросы теории кинетики превращений в конденсированных системах до настоящего времени не выяснены, хотя термодинамические условия образования новой фазы были установлены еще Д. Гиббсом [1]. Существующая теория фазовых превращений была создана применительно к процессам конденсации пара и частично для процессов кристаллизации жидкостей [2]. Образование инея еще в 1770-х гг. объяснил И.И. Лепехин [3]. В конце XIX — начале XX вв. появляется ряд важных обобщающих работ в области атмосферного льда, например, работа К.Н. Жука [4], раскрывающая физическую сущность выпадения переохлажденного дождя и образования гололеда. В работе И.А. Пульмана [5] описываются некоторые закономерности осаждения изморози. Материалы наблюдений в зимние сезоны 1923–1924 и 1929–1930 гг. на метеорологических станциях и постах позволили Н.А. Коростелеву [6] выявить очаги с наибольшей повторяемостью и интенсивностью обледенения проводов и дать общую схему его распределения в районе железных дорог. Более глубокое освещение этих вопросов нашло отражение в работах Н.С. Муретова [7].

Гололедные отложения создают внешние механические нагрузки на провода и опоры ВЛ электропередачи. Процесс гололедообразования может длиться от нескольких часов или суток до 2–3 месяцев, но нередко опасные отложения мокрого снега могут образоваться в течение часа. Метеорологические и синоптические условия гололедных отложений рассмотрены в нескольких работах [9–12]. При проектировании ВЛ необходим обязательный учет этих нагрузок, которые регламентируются «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ-7) [13]. Особенно большие нагрузки возникают при пляске проводов (грозозащитных тросов) из-за одностороннего

СХЕМА УСТАНОВКИ «ГОЛОЛЕД»



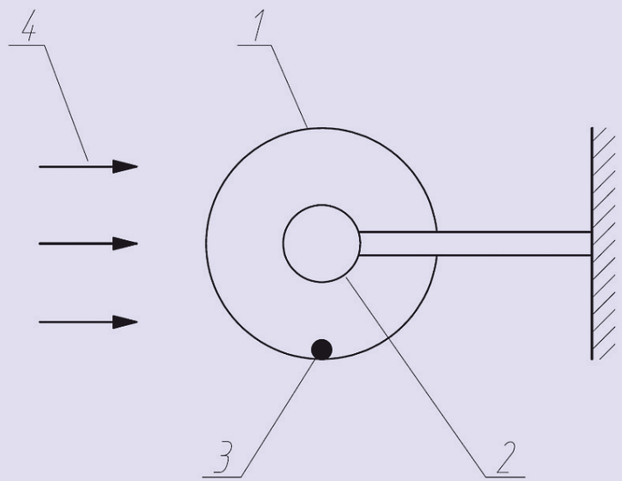
1 — вентилятор; 2 — воздуховоды; 3 — сплит-системы (1 и 2); 4 — образец, имитирующий провод, с системой крепления; 5 — датчик влажности и температуры; 6 — высокоточный датчик для измерения скорости воздуха и температуры; 7 — холодильная камера; 8 — насос для подачи воды в систему увлажнения; 9 — расходомер; 10 — компьютер; 11 — кнопочный пост управления сплит-системами; 12 — кнопочный пост управления вентилятором и насосом; 13 — частотный преобразователь; 14 — распределительный щит

Рис. 1

или асимметричного отложения гололеда (мокрого снега, изморози, смеси), вызываемой ветром со скоростью 3–25 м/с. Поэтому большое значение имеет исследование условий, при которых может образовываться как симметричная, так и асимметричная гололедная муфта.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности образования симметричной гололедной муфты в условиях одностороннего гололедного отложения на цилиндре, имитирующем провод, способном свободно проворачиваться под действием силы тяжести вокруг своей оси, что в свою очередь поможет разработать системный подход к решению сложной и многофакторной проблемы обеспечения надежности работы ВЛ в условиях гололедно-ветровых воздействий для предотвращения гололедных аварий в электрических сетях энергосистем России.

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА



1 — свободно вращающийся цилиндр; 2 — подшипник скольжения из фторопласта; 3 — грузик, смещающий положение центра масс вращающейся системы; 4 — поток воздуха

Рис. 2

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для экспериментального изучения и моделирования процесса образования гололедных отложений разработана климатическая камера «Гололед» (рис. 1 на с. 51). Установка состоит из холодильной камеры (далее камера), двух сплит-систем, воздушной системы, системы увлажнения, а также систем управления, контроля и измерения рабочих параметров. Камера 7 предназначена для создания условий образования гололедных отложений на проводе или имитирующем его образце. В ней размещаются устройство крепления провода 4, сплит-системы 3, воздушная система. Габариты камеры — 10 000×1860×2200 мм, объем — 34,12 м³.

Низкотемпературные холодильные сплит-системы создают и поддерживают в камере заданную температуру от 0 до –20 °С.

Воздушная система служит для создания потока воздуха со скоростью до 20 м/с. Она включает в себя вентилятор 1 и систему утепленных воздуховодов 2, соединенных с вентилятором и заведенных в холодильную камеру, внутри которой воздуховоды разделены на напорный и всасывающий.

Между напорным и всасывающим воздуховодами размещается устройство крепления провода, которое позволяет работать с участками провода (троса) длиной до 5 м.

Система увлажнения воздуха, размещенная на выходе из напорного воздуховода (на схеме не показана), поддерживает в камере влажность и создает мелкодисперсные капли воды, необходимые для образования гололеда и прочих структурных обледенений. Она состоит из емкости, частично заполненной водой, ультразвукового парогенератора и системы подачи воды.

Система управления, контроля и измерения параметров включает в себя датчики температуры, скорости и влажности воздуха, расходомер и др., показания которых регистрируются на компьютере. При проведении экспериментов по достижении заданной температуры воздуха сплит-системы переходят в режим ее поддержания. Регулировкой частоты вращения вентилятора задается необходимая скорость потока воздуха. При включении системы увлажнения водовоздушная смесь подается в поток охлажденного воздуха, направленного на провод. Часть влаги при этом оседает на проводе, образуя гололедное отложение (гололедную муфту).

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В проводимом эксперименте поверхность провода имитировалась пустотелым алюминиевым цилиндром — трубкой с внешним диаметром 20,0 мм и толщиной стенки 1,5 мм. Концы трубки были закрыты капролоновыми заглушками. Общая длина трубки с заглушками составляла 61,6 мм. Через капролоновые заглушки проходила стальная ось, на которой они были жестко зафиксированы. Для имитации скручивания провода при образовании гололеда ось закрепляли во фторопластовых подшипниках, что позволяло трубке вращаться по мере нарастания гололедной муфты (рис. 2). Масса цилиндра с заглушками и осью составляла 20,06 г. Для смещения центра масс системы относительно оси вращения на одну или обе сразу боковые поверхности заглушек крепились стальные грузики. Масса каждого грузика составляла 0,55 г, расстояние от оси вращения до центра грузика — 7,5 мм.

Под действием набегающего потока воздуха с каплями воды происходит образование гололеда на поверхности цилиндра-имитатора. В начальный момент времени на поверхности цилиндра, расположенной со стороны набегающего потока, образуется гололедное отложение. Из-за возникающего крутящего момента в поле сил тяжести происходит вращение цилиндра, область с наибольшей толщиной гололеда проворачивается вниз. В результате происходит вращение цилиндра с некоторой угловой скоростью, которая определяется скоростью образования гололеда, наличием дополнительного груза на цилиндре (смещающего его положение центра масс относительно оси вращения), а также силами трения между осью цилиндра и подшипниками скольжения.

Эксперимент проводился при температуре воздуха внутри камеры минус 7±1 °С и влажности 90±3 %. Диаметр выходного патрубка напорного воздуховода, из которого подавался воздух с каплями воды, составлял 125 мм,

ОТЛОЖЕНИЕ ГОЛОЛЕДА НА ЦИЛИНДРЕ С ОДНИМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ГРУЗИКОМ ЧЕРЕЗ 90 МИН. ПОСЛЕ НАЧАЛА ЭКСПЕРИМЕНТА

Рис. 3

ОТЛОЖЕНИЕ ГОЛОЛЕДА НА ЦИЛИНДРЕ С ДВУМЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ГРУЗИКАМИ (ОДИН ИЗ НИХ ВИДЕН НА ФОТОГРАФИИ) ЧЕРЕЗ 90 МИН. ПОСЛЕ НАЧАЛА ЭКСПЕРИМЕНТА

Рис. 4

расстояние от выходного патрубка напорного воздуховода до поверхности образца — 90 мм. Скорость потока воздуха на срезе патрубка напорного воздуховода (на оси) составляла 2,6 м/с, скорость потока воздуха в районе цилиндра (в центре) — 2,4 м/с. Расход воды в парогенераторе составлял 2,9±0,3 л/ч, температура воды была равна 4,5±1 °С. На рис. 3 и 4 на с. 53 приведены фото образца с отложением гололеда после 90 мин. воздействия потоком водовоздушной смеси при наличии одного и двух дополнительных грузиков соответственно.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

После включения парогенератора в течение 90 мин. через равные промежутки времени (10 мин.) измерялся угол поворота цилиндра и толщина гололеда на нем в центральной части в двух взаимно перпендикулярных направлениях — горизонтальном и вертикальном. Измерения проводились при разной начальной степени смещения центра масс системы относительно оси вращения, которая определялась количеством присоединенных грузиков (1 или 2).

Зависимость среднего значения (по двум взаимно перпендикулярным осям) удвоенной толщины стенки гололедной муфты от времени нарастания гололеда приведена в табл. 1. Толщины гололеда в вертикальном и горизонтальном направлениях в течение всего процесса намораживания отличались друг от друга на величины в пределах нескольких десятых долей миллиметра. В табл. 2 приведены итоговые результаты экспериментов.

Как видно из табл. 2, в разных экспериментах итоговые массы гололедных муфт мало различаются и, как и следовало ожидать, не зависят от начального смещения центров тяжести образцов. Во всех экспериментах гололедная муфта визуально выглядела симметричной (см. рис. 3 и 4). При разных условиях угол поворота образцов за время эксперимента составил от 1,1 до 1,5 оборота, и этого оказалось достаточно, для того чтобы обеспечить визуально наблюдаемое симметричное нарастание гололедной муфты. Средняя разница по осям удвоенной толщины стенки гололедной муфты составляет 0,3 мм для экспериментов с одним грузиком и 0,5–0,6 мм для экспериментов с двумя грузиками. Это составляет от 5 до 9 % от удвоенной толщины стенки гололедной муфты (см. табл. 1). Очевидно, что при такой разнице гололедная муфта визуально выглядит вполне симметричной. Надо отметить, что в аналогичных экспериментах при схожих параметрах, но при отсутствии вращения образца, имело место нарастание на образец гололедной муфты с ярко выраженной асимметрией [14].

ДИНАМИКА РОСТА ГОЛОЛЕДНОЙ МУФТЫ

Время от начала эксперимента, мин.	Удвоенная толщина стенки гололедной муфты, мм			
	1-й эксперимент с одним грузиком	2-й эксперимент с одним грузиком	1-й эксперимент с двумя грузиками	2-й эксперимент с двумя грузиками
0	0	0	0	0
10	0,9	1,2	1,2	1,1
20	1,6	1,7	2,2	1,7
30	2,5	2,7	2,5	2
40	3,4	3,3	3	2,6
50	4,1	4,5	3,5	3,7
60	4,8	5	4,7	4,3
70	5,7	5,3	5,9	5
80	6,1	5,6	6,5	5,9
90	6,2	5,8	7	6,8

Таблица 1

ИТОГОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Измеряемый параметр	1-й эксперимент с одним грузиком	2-й эксперимент с одним грузиком	1-й эксперимент с двумя грузиками	2-й эксперимент с двумя грузиками
Угловая скорость вращения образца в первые 10 мин. эксперимента, град./мин.	9,0	9,0	6,8	6,8
Угол поворота образца за время эксперимента, об.	1,5	1,3	1,1	1,4
Средняя разница по осям удвоенной толщины стенки гололедной муфты, мм	0,3	0,3	0,6	0,5
Итоговая масса гололедной муфты, г	16,0	13,0	15,7	15,1

Таблица 2

Угловые скорости вращения образцов с разным начальным смещением центра масс относительно оси вращения в начальный период времени были различными. Так, для образцов, в которых смещение центра масс относительно оси вращения обеспечивалось одним грузиком, угловая скорость вращения составляла 9 град./мин., а для образцов, в которых смещение центра масс обеспечивалось двумя грузиками, угловая скорость вращения в начальный момент составляла 6,8 град./мин. Однако эта тенденция сохранялась лишь в первые 20 мин. эксперимента. Затем вращение во всех случаях замедлялось и становилось неравномерным, что, как мы полагаем, может быть связано с неравномерностью нарастания гололеда (см. табл. 1). В итоге угол поворота у всех образцов в конце эксперимента оказался близким и составил для образцов с одним грузиком в среднем 1,4 оборота, а для образцов с двумя грузиками 1,25 оборота.

ВЫВОДЫ

Проведены исследования образования гололеда на цилиндрическом образце, имитирующем провод, на экспериментальной установке «Гололед» с температурой, влажностью и скоростью воздушного потока, близкими к реальным. Показана возможность образования симметричной гололедной муфты в условиях одностороннего гололедного отложения на цилиндрическом образце, способном свободно вращаться под действием силы тяжести вокруг собственной оси. Похожий механизм образования симметричной гололедной муфты, как предполагается, может иметь место на проводах и тросах воздушных линий электропередачи в условиях, способствующих образованию одностороннего гололедного отложения.

Полученные экспериментальные результаты будут способствовать большему пониманию механизма образования гололеда на проводах ВЛ при разработке мероприятий по прогнозированию и предотвращению гололедных аварий ВЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиббс Дж. В. Основные принципы статистической механики. М.: Гостехиздат, 1946. 203 с.
2. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей / Избр. тр. Т. 3. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 358 с.
3. Лебедев Д.М., Рихтер П.Д. Основные черты биографии и научной деятельности академика И.И. Лепехина // Известия АН СССР. Сер. географическая. 1952. № 4. С. 9–32.
4. Жук К.Н. Ледяной дождь // Метеорологический вестник. 1902. № 7. С. 267–274.
5. Пульман И.А. Наблюдения над изморозью и гололедицей // Метеорологический вестник. 1907. № 6.
6. Коростелев Н.А. Гололед и изморозь на железных дорогах СССР в зимы 1923–1924, 1929–1930 гг., 1931.
7. Муретов Н.С. Гололед и изморозь в районе железных дорог. М.: Трансжелдориздат, 1935. 41 с.
8. Подрезов О.А. Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 222 с.
9. Глухов В.Г. Метеорологические условия образования гололеда / Тр. ГГО. 1972. Вып. 311. 98 с.
10. Леухина Г.Н. Гололедно-изморозевые явления и обледенение проводов в Средней Азии // Тр. САРНИГМИ. Вып. 7 (88). Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 143 с.
11. Бургсдорф В.В. Сооружение и эксплуатация линий электропередачи в сильно гололедных районах. М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1947. 196 с.
12. Бучинский В.Е. Гололед и борьба с ним. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 192 с.
13. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007. 552 с.
14. Гаджиев М.Х., Исакаев И.Х., Коновалов П.А., Терешонок Д.В., Тюфтяев А.С. Исследование гололедообразования на поверхности цилиндра при обтекании потоком воздуха с содержанием капель воды // Энергия единой сети. 2016. № 3. С. 45–47.

АТЛАНТ
диспетчерские пульты

- Разнообразие конфигураций;
- ровная столешница по всей длине пульта;
- надежный стальной каркас;
- встроенные кабельные каналы для сигнальных и электрических проводов;
- лючки доступа к верхнему кабельному каналу;
- тыловой и фронтальный доступ к оборудованию;
- естественный и принудительный воздухообмен для установленного оборудования;
- модульная система энергоснабжения.

- Мягкий кант для защиты рук диспетчера во всех комплектациях;
- соответствие требованиям эргономики;
- износостойкая HPL-столешница с антистатическим покрытием;
- только качественные и профессиональные материалы;
- производство РФ.

Удобство. Надежность. Стиль.

Каждый диспетчерский пульт «АТЛАНТ» изготавливается по индивидуальному проекту. Перед отправкой к клиенту осуществляется полная предварительная сборка диспетчерского пульта, что гарантирует высокое качество поставляемого изделия.

Pult-atlant.ru
Pultatlant.ru
sales@pult-atlant.ru
+7 495 956 21 14

реклама