

Диагностика гололеда на проводах контактной сети

М.А. Трубицин

*Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

Аннотация: Нагрузки от гололедных образований на провода контактной сети ухудшают качество токосъема и способствуют возникновению аварийной ситуации. В статье представлен анализ способов и комплектов аппаратуры для диагностики гололедно-изморозевых образований на проводах контактной сети. Элементы аппаратуры диагностики образуют информационную систему, конечной точкой которой является пульт энергодиспетчера. Показано, что состав диагностической аппаратуры определяется типом контактной подвески и ее местом установки. Многообразие методов используемых для диагностики гололеда на проводах контактной подвески говорит о сложности решаемой задачи.

Ключевые слова: Контактная сеть, гололедные образования, нагрузки, способы диагностики, эксплуатация, токоприемник, условия работы, аварийная ситуация, доработка методов.

Контактная сеть электрифицированных железных дорог является важным и ответственным элементом системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Она работает в условиях воздействия климатических и эксплуатационных факторов. Основной особенностью контактной сети является невозможность ее резервирования.

Наиболее «агрессивными» атмосферными воздействиями (режимами работы) на провода контактной подвески (контактный провод и несущий трос) считаются режимы: гололеда и гололеда с ветром. Эти режимы способствуют увеличению общей массы элементов контактной подвески и как следствие увеличение нагрузочной способности на поддерживающие и опорные конструкции.

Гололедно-изморозевые образования возникающие на проводах воздушных ЛЭП и контактной сети создают дополнительную нагрузку на опорные и поддерживающие конструкции. Появление гололеда на контактном проводе ухудшает качество токосъема, способствует появлению электрической дуги, которая в свою очередь является источником радиопомех. В месте появления дуги из-за её термического воздействия

происходит повреждение поверхности контактного провода и как следствие изменение его механических характеристик.

Раннее обнаружение гололедно-изморозевых образований на контактной сети позволит предупредить развитие аварийных ситуаций, повысить надежность системы электроснабжения, уменьшить вероятность повреждения опорных и поддерживающих конструкций, обеспечить качественный надежный токосъем электроподвижного состава.

Обзор существующих способ обнаружения гололеда на контактной сети

Раннее обнаружение гололедно-изморозевого образования [1,2] может быть осуществлено по изменению электрических параметров пленочного конденсатора, где в качестве диэлектрика с изменяющимися свойствами выступает гололед, образующийся на контактном проводе (рис.1).

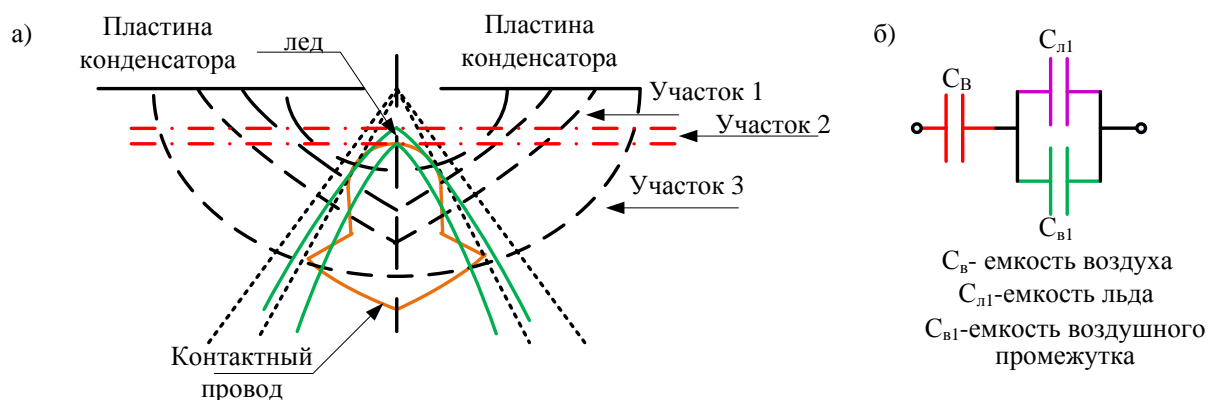


Рис.1 Диагностика гололеда по емкости воздушного промежутка
а)-принципиальная схема;
б)- фрагмент электрической схемы замещения

Пластины конденсатора должны быть заранее установлены на участках образования гололеда, а сам конденсатор является элементом информационной системы следящей за образованием гололеда на данном участке. Для отдельного участка гололедообразования емкость воздушного промежутка может быть определена по выражению [1]:

$$C = C_{\epsilon} + \frac{C_{\epsilon 1} \cdot C_{\lambda 1}}{2 \cdot (C_{\lambda 1} + C_{\epsilon 1})} + \frac{C_{\epsilon 2} \cdot C_{\lambda 2}}{2 \cdot (C_{\lambda 2} + C_{\epsilon 2})}$$

Образование гололеда на контактном проводе приводит к изменению емкости конденсатора и соответственно параметров сигнала передаваемого от данного датчика в информационной системе.

Нарушение токосъема сопровождается появлением электрической дуги [3] в месте плохого контакта и сопровождается вспышками света и появлением радиопомех в широком частотном диапазоне.

Гололедная муфта, образуемая на контактном проводе, ухудшает качество токосъема и по вспышкам света и радиоизлучению её место расположения может быть зафиксировано. Передача данных о некачественном токосъеме из-за появления гололеда может быть осуществлена машинистом электровоза или зафиксирована с помощью видеокамеры движущимся в составе поезда вагоном лабораторией контактной сети (ВИКС) (рис.2) в темное время суток [3].

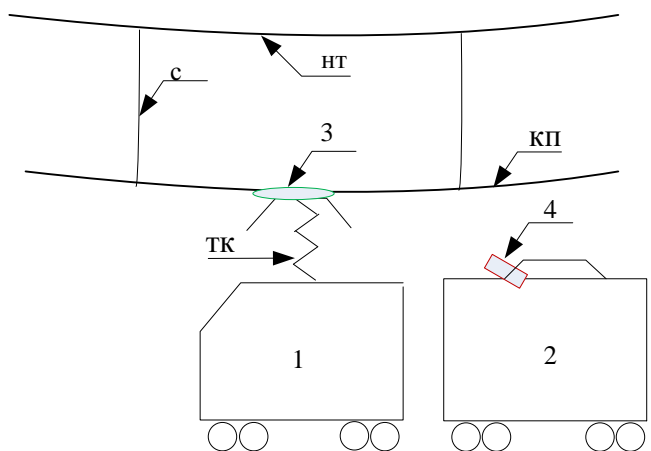


Рис. 2. Диагностика при помощи ВИКС :
нт - несущий трос; кп - контактный провод;
тк – токоприемник; с – струна ;
1-локомотив; 2- вагон-лаборатория (ВИКС);
3 – гололедная муфта; 4 – видеокамера.

Данный вариант фиксации гололедно-изморозевых образований позволяет определить их расположение на контактной сети в реальном времени, однако фиксация вспышки света возможна лишь в темное время

суток, при помощи специализированной аппаратуры, установленной на подвижном составе.

При использовании вагона-лаборатории для фиксации гололеда, данные о его появлении, будут переданы энергодиспетчеру с запозданием по времени (т.к. необходимо произвести обработку записанной информации).

Наиболее простым вариантом раннего обнаружения гололеда следует считать метод измерения тяжения проводов контактной подвески [4-6].

При проектировании контактной сети расчет тяжения проводов определяют путем решения уравнения состояния контактной подвески [7,8]:

$$t_x = \left[t_1 - \frac{L_1 g_1^2}{24\alpha H_1^2} + \frac{H_1}{\alpha ES} \right] + \frac{L_x g_x^2}{24\alpha H_x^2} + \frac{H_x}{\alpha ES}$$

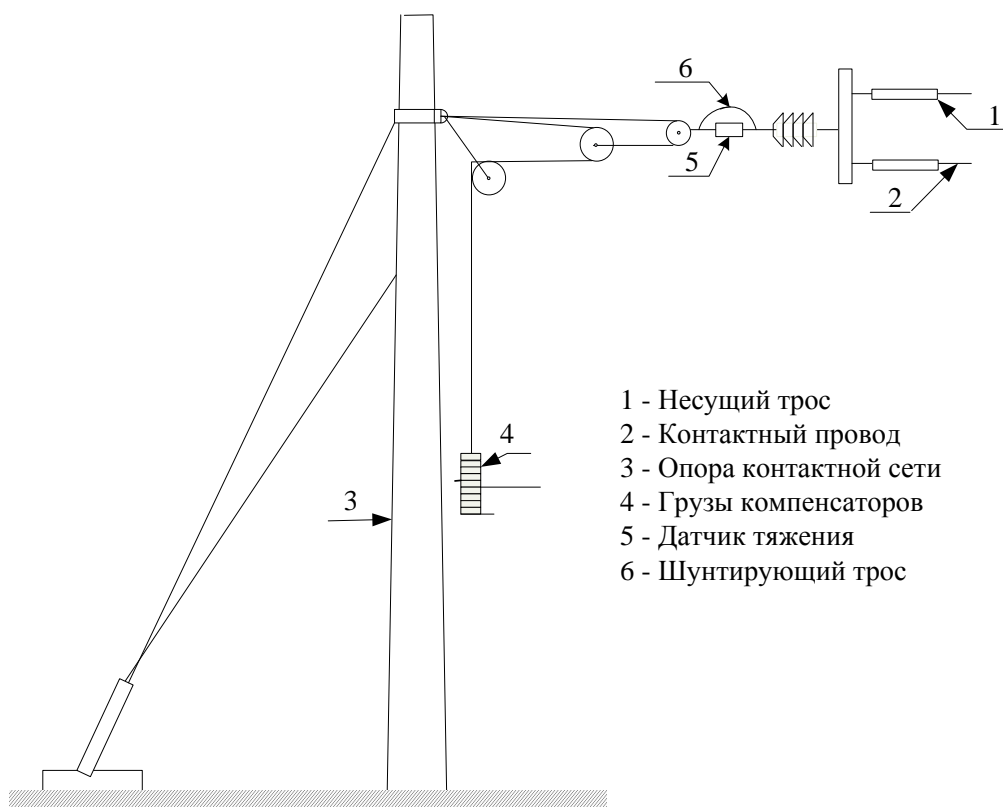
где: H - натяжение провода(H);

E - модуль упругости;

Параметры подвески являющиеся исходными обозначают цифрой 1, а параметры расчетного режима "x". Решение данного уравнения является сложным и осуществляется методом подбора. Полученные результаты расчета представляются в виде зависимости $H = f(t)$ (номограмм), которые являются исходными данными при строительстве и дальнейшей эксплуатации участка контактной сети.

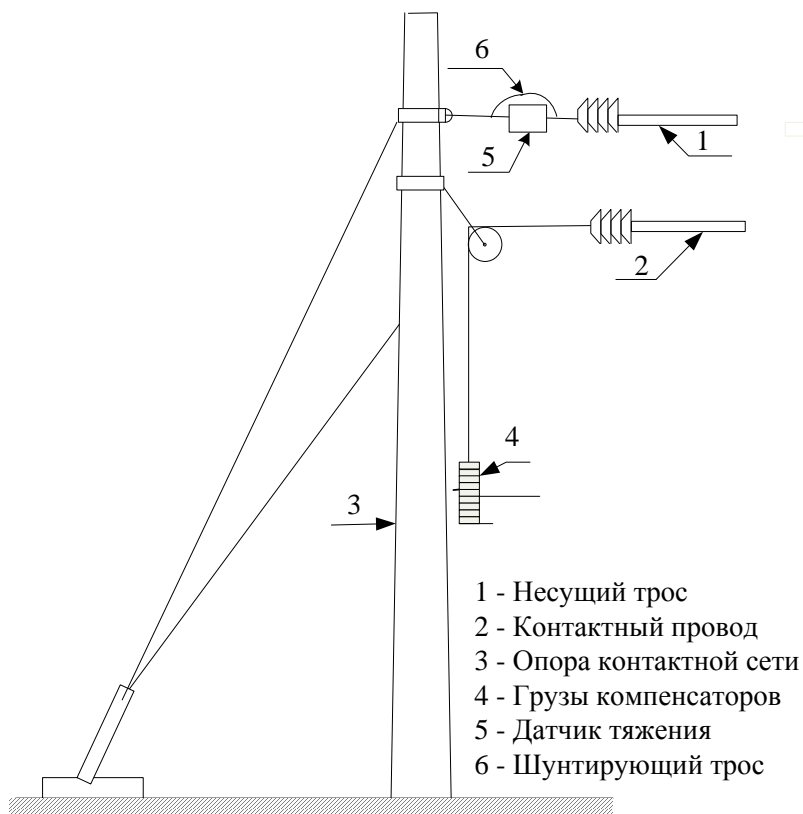
Для определения гололеда на проводах контактной сети, датчики тяжения (тензорезисторы) устанавливаются в совместную систему натяжения (анкеровку несущего троса и контактного провода) (рис.3), либо в систему натяжения несущего троса (рис.4).

Контроль за образованием гололеда на проводах контактной сети в зависимости от типа подвески [4-6] осуществляется по величине тяжения проводов.



- 1 - Несущий трос
- 2 - Контактный провод
- 3 - Опора контактной сети
- 4 - Грузы компенсаторов
- 5 - Датчик тяжения
- 6 - Шунтирующий трос

Рис.3 Анкеровка проводов компенсированной цепной подвески



- 1 - Несущий трос
- 2 - Контактный провод
- 3 - Опора контактной сети
- 4 - Грузы компенсаторов
- 5 - Датчик тяжения
- 6 - Шунтирующий трос

Рис.4 Анкеровка проводов полукompенсированной цепной контактной подвески

Тензорезисторы являются основным элементов датчиков – преобразователей нагрузки [4-6], которые вместе с автономным источником электроэнергии и приемно-передающим блоком образуют информационную систему [9,10]. Появление гололеда на проводах контактной подвески приводит к изменению параметров тензорезисторов и формированию соответствующего сигнала, посылаемого в приемный блок [9-11]. В этом блоке сигнал обрабатывается и по каналам связи передается энергодиспетчеру для принятия решений, направленных на ликвидацию гололедных образований на проводах подвески (профилактический подогрев или плавка гололеда).

Выводы

Особенности конструкции и работы контактной подвески не позволяют использовать способы раннего обнаружения гололеда, применяемые для этих целей на высоковольтных линиях электропередачи [11-13]. Рассмотренные способы диагностики имеют достоинства и недостатки, обусловленные особенностями конструкции и принципами работы контактной подвески. Разнообразие технической реализации способов раннего обнаружения гололеда говорит о сложности решаемой задачи.

Литература

1. Кубкина О.В. Раннее обнаружение гололедно-изморозевых образований в электротяговых сетях дис... канд. техн. наук: 05.22.07. Ростов-на-Дону, 2009.159 с.
2. Лысенко В. Г., Кубкина О. В. Мониторинг гололедно-изморозевых образований на контактной сети переменного тока // Инженерный вестник Дона, 2021, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966
3. Семенов Ю.Г. Развитие информационной системы, теории и методов дистанционной диагностики контактной сети по параметрам

электромагнитных радио- и оптических излучений дугового токосъема дис...

докт. техн. наук: 05.22.07. Ростов-на-Дону, 2013. 285с.

4. Трубицин М.А., Лукашевич О.Г. Анализ способов обнаружения гололеда на проводах ЛЭП и их применение для контактной сети // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3907

5. Трубицин М.А., Лукашевич О.Г. Проблема гололёда на проводах воздушных линий системы электроснабжения железнодорожного транспорта //Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582

6. Черных, В. Н., Бойко А. В. Некоторые способы выявления гололедно-изморозевых образований на контактной сети электрифицированных железных дорог // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. № 4. С. 170–176. – DOI: 10.46973/0201–727X_2022_4_170.

7. Фрайфельд, А.В., Брод Г.Н. Проектирование контактной сети [Текст], 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Транспорт, 1991. – 336 с.

8. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередач // 1979. - С. 438.

9. Минуллин Р.Г., Касимов В.А., Яруллин М.Р. Сравнение показаний аппаратуры локационного зондирования и весовых датчиков при обнаружении гололедных отложений на линиях электропередачи // Энергетика Татарстана .2015. №2 С. 19-27.

10. Костиков И. Система мониторинга «САТ-1» – эффективная защита ВЛЭП от гололеда // Электроэнергия. Передача и распределение. 2011. №1. С. 32–35.

11. Деменьтьев С.С. Интеллектуальная система мониторинга гололедообразования на воздушных линиях электропередачи дис... канд. техн. наук: 05.11.16. Волгоград, 2019. 142 с.

12. Farzaneh M. Atmospheric Icing of Power Networks. Springer Science, 2008. 381с.

13. Tomaszewski M. The study of weather conditions favourable to the accretion of icing that pose a threat to transmission power lines // International Journal of Critical Infrastructure Protection. – 2019. – Vol. 25. – pp. 139-151.

References

1. Kubkina O.V. Rannee obnaruzhenie gololedno-izmorozevykh obrazovaniy v elektrodyagovykh setyakh [Early detection of ice and frost formations in electric traction networks] dis... kand. tekhn. nauk: 05.22.07. Rostov-na-Donu, 2009. 159 p.

2. Lysenko V. G., Kubkina O. V. Inzhenernyj vestnik Dona 2021, №5. URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966

3. Semenov YU.G. Razvitie informacionnoj sistemy, teorii i metodov distancionnoj diagnostiki kontaktnoj seti po parametram elektromagnitnykh radio- i opticheskikh izlucheniij dugovogo tokos"ema [Development of information system, theory and methods of remote diagnostics of contact network by parameters of electromagnetic radio and optical emissions of arc current collector] dis... dokt. tekhn. nauk: 05.22.07. Rostov-na-Donu, 2013. 285p.

4. Trubicin M.A., Lukashevich O.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3907

5. Trubicin M.A., Lukashevich O.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582

6. CHernyh V.N., Bojko A.V., Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. 2022. № 4. pp.170-176. – DOI : 10.46973/0201–727X_2022_4_170.

7. Frajfel'd A.V., Brod G. N. Proektirovanie kontaktnoj seti [Projecting of overhead contact system]. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1991. 335 p. ISBN 5-277-00796-2.

8. Krjukov K.P., Novgorodcev B.P. Konstrukcii i mehanicheskij raschet linij jelektroperedach [Construction and mechanical calculation of power lines]. M.: Transport. 1979. 438 p.

9. Minullin R.G., Kasimov V.A., YArullin M.R. Energetika Tatarstana. 2015. №2 pp.19-27.

10. Kostikov I. Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. 2011. №1. pp. 32–35.

11. Demen't'ev S.S. Intellektual'naya sistema monitoringa gololedo-obrazovaniya na vozdushnyh liniyah elektroperedachi [Intelligent system for monitoring of ice formation on overhead power lines]. dis... kand. tekhn. nauk: 05.11.16. Volgograd, 2019. 142 p.

12. Farzaneh M. Atmospheric Icing of Power Networks. Springer Science, 2008. 381p.

13. Tomaszewski M. International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2019. Vol. 25. pp. 139-151.