

## Анализ способов обнаружения гололеда на проводах ЛЭП и их применение для контактной сети

*М.А. Трубицин, О.Г. Лукашевич*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

**Аннотация:** Работа контактной сети в зимних условиях значительно осложняется. Наиболее тяжелым режимом работы контактной сети является режим гололёда с ветром, при котором возрастают ветровые и гололёдные нагрузки как на провода и тросы, так и на опорные и поддерживающие конструкции. Гололедные образования на проводах и ветровые воздействия значительно ухудшают условия токосъема, а в совокупности с эксплуатационными факторами могут вызвать аварию и привести к остановке поездов. В связи с этим актуальным становится обнаружение гололедно-изморозевых образований на ранних стадиях при минимальной толщине стенки. В статье рассматриваются способы раннего обнаружения гололеда, использующиеся на линиях электропередачи и возможность этих способов для применения на контактной сети. Условия работы контактной сети и линий электропередачи отличаются, и поэтому не все способы, применяемые, на ЛЭП могут быть использованы. В качестве основного рассмотрен термодинамический способ определения гололеда. Представлен комплект аппаратуры реализующий этот способ и вариант установки на участке контактной сети.

**Ключевые слова:** контактная сеть, контактный провод, несущий трос, гололед, нагрузка, система обнаружения, методы контроля, гололедно-изморозевое образование, энергодиспетчер, толщина отложений, разрыв провода, информация.

Контактная сеть электрифицированных железных дорог работает в тяжелых климатических и эксплуатационных условиях и не имеет резерва. К её надежности предъявляются высокие требования.

Работа контактной сети в зимних условиях значительно осложняется. Наиболее тяжелым режимом работы контактной сети является режим гололёда с ветром, при котором возрастают ветровые и гололёдные нагрузки как на провода и тросы, так и на опорные и поддерживающие конструкции.

Гололедные образования на проводах и ветровые воздействия значительно ухудшают условия токосъема, а в совокупности с эксплуатационными факторами могут вызвать аварию и привести к остановке поездов.

На появление гололедно-изморозевых образований на контактной сети влияют различные факторы (участки местности, близость к водоёму, колебания температуры, ветровые воздействия и прочее). Эксплуатационным фактором способствующим образованию гололёда на контактном проводе является его нагрев тяговым током. Образование гололеда на проводах происходит неравномерно, вследствие различного расположения по высоте контактного провода и несущего троса, а также перераспределения токов в проводах контактной подвески.

Токоосъем во время движения подвижного состава при наличии гололеда значительно ухудшается, вызывая при этом дополнительные электромагнитные излучения (возникающие в результате отрыва токоприемника от контактного провода) и неравномерный нагрев провода в местах контакта. При наличии электрической дуги возможен вынос фрагментов контактного провода (как результат – разрушения участка провода) [1,2]. С целью выполнения профилактических мероприятий по недопущению появления гололедно-изморозевых образований необходимо отслеживать образование гололедных отложений на проводах контактной подвески.

В связи с этим актуальным становится обнаружение гололедно-изморозевых образований на ранних стадиях при минимальной толщине стенки. Для оперативного управления процессом борьбы с гололедом на контактной сети, энергодиспетчеру, необходимо в режиме реального времени, получать информацию о толщине стенки гололёда.

В настоящее время существует несколько способов обнаружения гололеда классифицируемых по контролируемому параметру[3,4]:

- контроль измерения веса проводов и тросов контактной подвески;
  - контроль характеристик электромагнитного излучения при прохождении токоприемника электровоза;
-

- анализ условий распространения высокочастотного сигнала (ВЧ) по проводам и тросам;
- визуальный контроль гололёдно-изморозевых образований;
- контроль наличия и толщины стенки гололеда с помощью емкостных датчиков, установленных непосредственно на контактной сети.

Визуальный контроль гололёдно-изморозевых образований может быть выполнен либо работниками района контактной сети (при обходе таких участков), либо машинистом электровоза (электропоезда) или его помощником в процессе движения по участку с целью дальнейшей передачи по каналам связи энергодиспетчеру.

Для контроля гололеда по параметрам электромагнитного излучения при прохождении токоприемника электровоза необходима либо специальная аппаратура устанавливаемая на каждом электровозе, либо в местах появления гололеда на контактной подвеске, с возможностью дальнейшей передачи информации энергодиспетчеру.

Для контроля гололеда по распространению высокочастотного сигнала (ВЧ) по проводам и тросам необходима приемно-передающей аппаратура, не вносящая дополнительные помехи в устройства радиосвязи и контроля.

Из-за механического контакта между поверхностью контактного провода и токоприемником установка различного вида датчиков непосредственно на контактный провод невозможна, вследствие чего, не все методы, применяемые для оценки гололеда, на ЛЭП МРСК могут быть использованы на контактной сети[5,6,7,8].

Контактный провод и несущий трос находятся на разных высотах, вследствие чего гололед по-разному, образуется и формируется на проводах контактной подвески. Проход токоприемника уменьшает толщину стенки гололеда на контактном проводе за счет механического взаимодействия и

оплавления (под воздействием тягового тока). Гололед на несущем тросе практически не уменьшается.

Колебания проводов подвески и часть тягового тока текущего по несущему тросу, не приводят к значительному снижению массы гололёда на нем. Определить момент появления гололеда на проводах подвески, на всем протяжении участка железной дороги технически невозможно, а в некоторых случаях и нецелесообразно (т.к. на участках с интенсивным движением электроподвижного состава, толщина отложений значительно меньше - из-за периодической очистки контактного провода ползком токоприемника). Под воздействием токоприемника и колебаний контактной подвески, гололед на отдельных участках разрушается.

Метод обнаружения гололеда по изменению веса проводов и контроль при помощи емкостных датчиков, основанные на применении датчиков гололеда, решают задачи раннего обнаружения в конкретной точке и реализации обратной связи с диспетчерским пунктом. Основной проблемой при реализации этих методов, является необходимость определения места (мест) установки датчиков. Датчики обнаружения гололеда целесообразно устанавливать на тех участках контактной подвески, где появления гололеда наиболее часты[3-6].

При определении места установки датчика необходимо учитывать возможность организации передачи данных на диспетчерский пункт по каналам связи. Кроме того устанавливаемые датчики должны либо иметь собственный источник электрической энергии, либо преобразователь позволяющий использовать напряжение контактной сети для питания аппаратуры.

Находясь вблизи электромагнитного поля контактной сети датчики не должны ощущать его воздействия[1,2]. Информация передаваемая по каналам связи от этих датчиков не должна искажаться при проходе

---

электроподвижного состава, т.к. из-за электрической дуги возможно появление помех.

Учитывая выше перечисленные особенности, следует отметить, что для контактной сети наиболее эффективным способом для обнаружения гололёдно-изморозевых образования следует считать термодинамический, основанный на измерении температуры провода, веса проводов, скорости и направления ветра на участке гололедообразования.

В качестве экспериментального выбран полигон на участке Северо-Кавказской железной дороги, где установлен комплект аппаратуры программно-технического комплекса АИСКГН "БЛАЙС®" (разработанного «Специальным конструкторским бюро приборов и систем автоматизации» г. Невинномысск), реализующий термодинамический способ. В состав аппаратуры входят датчики - преобразователи нагрузки, датчики влажности, температуры, ветра и передающий блок. Датчики-преобразователи нагрузки, устанавливаемые на несущем тросе и контактном проводе, осуществляют связь по радиоканалу с передающим блоком (рис.1.)

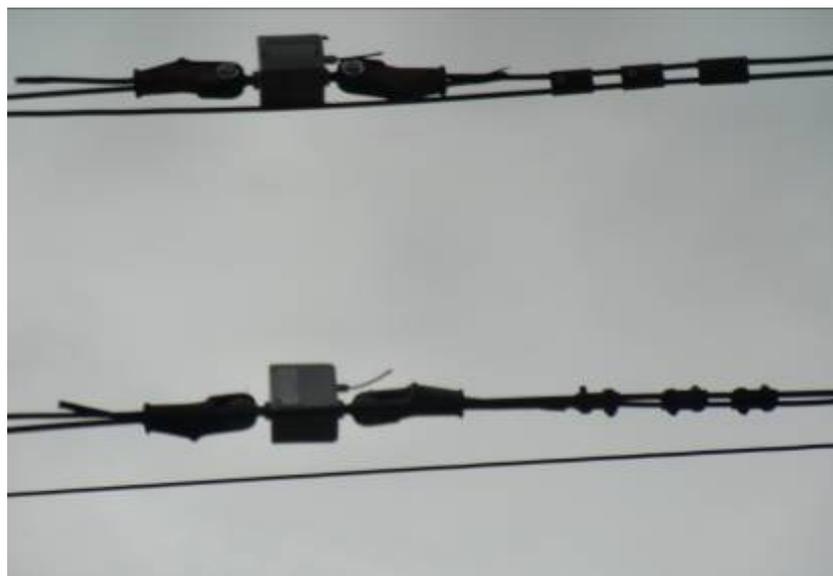


Рис.1. Датчики-преобразователи на проводах

Собранная информация, через GSM модуль передается на диспетчерский пункт. С целью исключения внезапного разрыва проводов и тросов, датчики преобразователи нагрузки зашунтированы стяжкой-тросом, имеющим небольшой провес и позволяющий не допустить разрегулировку контактной подвески при внезапном обрыве одного из элементов крепления датчика.

Отличительной особенностью контактной подвески на перегонах является наличие компенсаторов на контактном проводе и несущем тросе, что не позволяет применить “стандартную” схему включения датчиков – преобразователей широко применяемую на ЛЭП ФСК России[3,4].



Рис.2.Блок приема - передачи информации

Блок приема-передачи (рис.2.) имеет в своем составе аккумулятор, солнечную батарею и приемно-передающее устройство. Частота обмена информацией между диспетчерским пунктом и блоком приема-передачи устанавливается оператором и может варьироваться. Информация, передаваемая, на диспетчерский пункт содержит данные о температуре окружающего воздуха, направление и скорости ветра в месте установки датчика, изменение веса несущего троса и контактного провода. Анализирую

---

получаемые данные можно определить момент начало образования гололеда на несущем тросе и контактном проводе, как по данным о температуре и скорости ветра, так и изменению веса проводов контактной подвески.

Реакция подвески на внешние воздействия заключается в вертикальном перемещении компенсаторов на небольшую высоту. На величину перемещения влияют как атмосферные факторы (в данном случае толщина гололедных образований на проводах и тросах подвески) так и эксплуатационные, в данном случае - нажатие токоприемника.

Перемещение токоприемника вдоль подвески приводит к созданию бегущих волн, как впереди токоприемника, так и позади него (рис.3.).

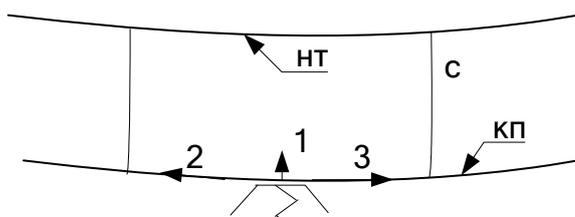


Рис. 3. Распространение волн в контактной сети : нт - несущий трос; кп - контактный провод; тк - токоприемник; с - струна ;  
1-нажатие токоприемника; 2- падающая волна;

факторов суммируются, и подъем или опускание грузов невелики.

На реакцию компенсаторов влияет состояние роликов в блоке компенсаторов. При наличии смазки, покрывающей ролик, перемещение грузов блока компенсаторов под воздействием внешних влияний будет происходить плавно.

Наличие ржавчины на поверхности ролика приводит к увеличению трения и к скачкообразному перемещению грузов компенсатора.

Перемещение грузов компенсаторов будут различными, если они установлены отдельно на несущий трос и контактный провод[9,10].

Величина перемещения грузов компенсатора в этом случае меньше, чем при наличии гололедных отложений.

Погрешность в определении величины гололеда может возрасти в зимний период, когда ряд

Допустимый диапазон перемещения грузов (определяется конструкцией анкеровки и длиной гирлянд грузов), для совместной анкеровки контактного провода и несущего троса (рис.4) можно определить по выражению

$$A_{\max} = \frac{L_{\max}^{CA} \Delta t \alpha}{k}$$

где:  $L_{\max}^{CA}$  - длина анкерного участка компенсированной контактной подвески;

$k$  – коэффициент передачи компенсатора;

$\Delta t$  – рабочий температурный диапазон контактной подвески (с учетом нагрева проводов солнечной радиацией и токами нагрузки), 0С;

$\alpha$  – коэффициент температурного линейного расширения проводов м/°С.

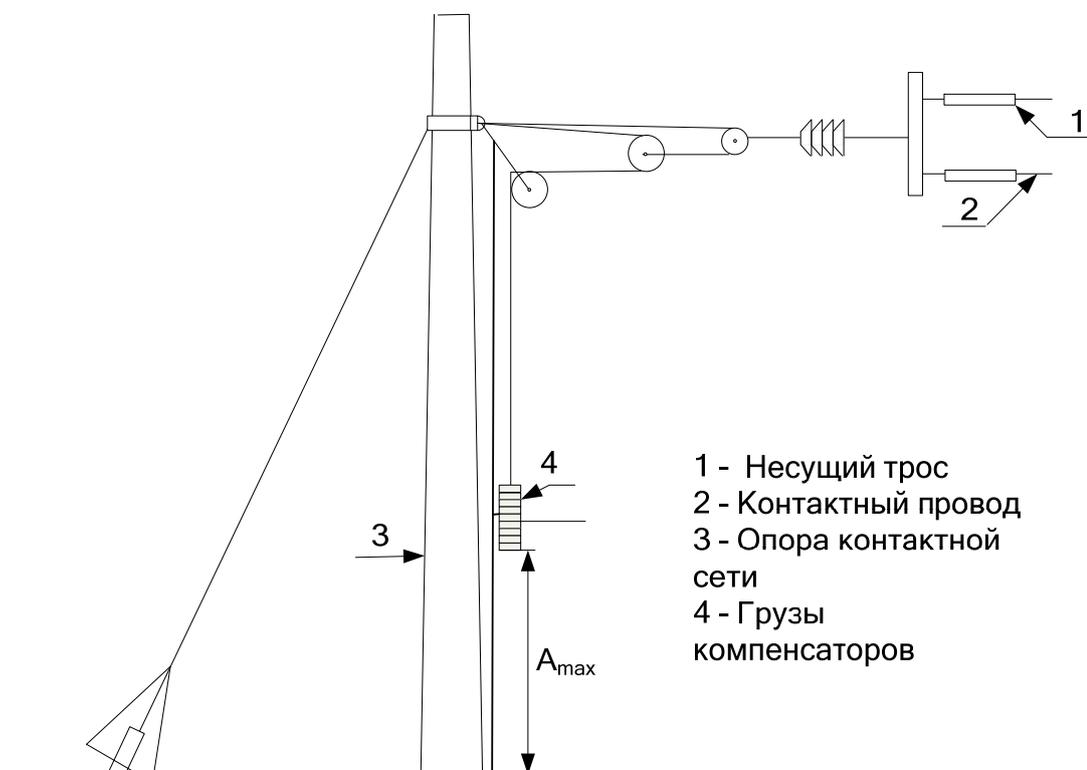


Рис.4 Анкеровка проводов компенсированной контактной подвески

## Литература

- 1.Осипов В. А., Соловьев Г. Е., Гороховский Е. В., Капкаев А. А. Проблемы электротермической деградации волоконно-оптических линий связи и перспективные направления их решения //Инженерный вестник Дона, 2013 №1 URL ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1539
2. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Соловьев А.Н. Анализ влияния дефектов в основании опоры ЛЭП на параметры собственных поперечных колебаний на основе аналитической модели // Инженерный вестник Дона, 2015№4 UR: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3432.
3. Беляев И.А., Вологин В.А. Взаимодействие токоприёмников и контактной сети. – М.: Транспорт., 1983. – 192. с
- 4.Панасенко М.В., Брыкин Д.А. Обзор используемых устройств обнаружения отложений для систем мониторинга воздушных линий электропередачи // Воздушные линии.- 2012.–№3.–С.79-82.
- 5.Songhai Fan, Xingliang Jiang, Caixin Sun, Zhijin Zhang, Lichun Shu. Temperature characteristic of DC ice-melting conductor // Cold Regions Science and Technology, 2011. № 65. pp. 29 – 38.
- 6.Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J.M., García Puertas D., Bañri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines /// ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering, and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications, 2011. pp. 149 – 153.
- 7.Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередач // 1979. - С. 438.



8. Кесельман, Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. М.: Транспорт - 1992. – 350 с.
9. Фрайфельд А.В., Брод Г.Н. Проектирование контактной сети– 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1991. – 335 с.
10. Марквардт К. Г. Контактная сеть: учебник для вузов ж.-д. трансп. / . – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1994. – 335 с.

### References

1. Osipov V.A., Solov'ev G.E., Gorokhovskiy E.V., Kapkaev A. A., Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1 URL [ivdon.ru/magazine/ archive /n1y2013/1539](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1539)
2. Egorochkina I.O., Shljahova E.A., Cherpakov A.V., Solov'ev A.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/ n4y2015/3432](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3432).
3. Beljaev I.A., Vologin V.A. Vzaimodejstvie tokoprijomnikov i kontaktnoj seti [Interaction of pantographs and overhead contact system]. М.: Transport. 1983. 192 p.
4. Panasenko M.V., Brykin D.A. Obzor ispol'zuemyh ustrojstv obnaruzhenija otlozhenij dlja sistem monitoringa vozdušnyh linij jelektroperedachi. *Vozdušnye linii*. 2012. №3 pp.79-82.
5. Songhai Fan, Xingliang Jiang, Caixin Sun, Zhijin Zhang, Lichun Shu. Temperature characteristic of DC ice-melting conductor. *Cold Regions Science and Technology*, 2011. № 65. pp. 29 – 38.
6. Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J.M., García Puertas D., Bañri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines. ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering,



and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications, 2011. pp. 149 – 153.

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

8. Kesel'man, L.M. Osnovy mehaniki vozdushnyh linij jelektroperedachi [. Mechanics foundation of overhead power transmission line]. L.M. Kessel'man. 1992. 350p .

9. Proektirovanie kontaktnoj seti [Projecting of overhead contact system] A. V. Frajfel'd, G. N. Brod. 3-e izd., pererab. i dop. M. : Transport, 1991.335 p. ISBN 5-277-00796-2.

10. Markvardt K. G. Kontaktnaja set': uchebnik dlja vuzov zh.-d. transp. [Overhead contact system: textbook for railway transport institutes of higher education]. 4-izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1994. 335 p. ISBN 5-277